



Bruno Rodrigues Duarte
Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Avaliação experimental e numérica do desempenho de um revestimento por pintura com propriedades termo cromáticas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil Reabilitação de Edifícios

Orientador: Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar, Professor Auxiliar,
Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Carlos Gomes Rocha de Almeida

Arguente: Prof^a. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues

Vogal: Prof. Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Outubro de 2019



Bruno Rodrigues Duarte
Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Avaliação experimental e numérica do desempenho de um revestimento por pintura com propriedades termo cromáticas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil Reabilitação de Edifícios

Orientador: Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar, Professor Auxiliar,
Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Carlos Gomes Rocha de Almeida
Arguente: Prof^a. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues
Vogal: Prof. Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Outubro de 2019

Avaliação experimental e numérica do desempenho de um revestimento por pintura com propriedades termo cromáticas

Copyright © Bruno Rodrigues Duarte, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

À Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal (SEEDF), pela licença concedida a este autor, por meio da qual foi possível uma inteira dedicação ao estudo e ao desenvolvimento deste trabalho.

A todos os docentes e funcionários da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL), que dispõem do seu tempo e conhecimento em prol dos ensinamentos e da ajuda aos estudantes. Em especial: ao Professor Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar, orientador científico deste trabalho, pela escolha e disponibilização do tema, bem como pelos ensinamentos e atenção demonstrados ao longo deste percurso; à Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues, coordenadora e referência do curso de Mestrado em Reabilitação de Edifícios, pela presteza e atenção a todos os alunos desta faculdade; ao Eng^o Vítor Silva, do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da FCT/UNL, pela disponibilidade, solicitude e confiança demonstradas durante a execução deste trabalho.

A todos os colegas profissionais, pesquisadores, professores ou cientistas, que dedicam seu tempo na busca e generalização do conhecimento em prol de um mundo melhor.

A todos os colegas de faculdade e de percurso, por toda a ajuda, afeto e atenção durante a realização deste curso. Em especial: a Célia Caritas, esta portuguesa de alma brasileira, que disponibilizou e recebeu a minha família em sua casa, além de ter se tornado uma referência para nós durante o período de curso; ao casal de amigos Cristiano Cunha e Nayane Taniguchi, os precursores na aventura de se tornarem mestre em terras lusitanas, por toda presteza e experiência repassado, além da amizade por sempre demonstrada; ao Eng^o Rafael Silva, por ter me auxiliado nas etapas de cumprimento deste objetivo.

Aos amigos e familiares que transmitiram afeição e carinho, enquanto estava dedicado no alcance deste novo grau acadêmico. Em especial, aos meus pais de sangue, Marcos e Neli, e de coração, Telma e Edmar, pelo suporte, amor e aceitação quanto à decisão de seguir viagem rumo a terras estrangeiras em busca deste sonho; aos meus irmãos, Larissa, Daniel e Tatiane, por suportarem a saudade durante o período.

A minha esposa, Jaqueline, um parágrafo e um agradecimento em particular. Obrigado pela luta, pelo amor, pela dedicação, pelo suporte, pelo companheirismo em cada etapa deste processo. Obrigado por me ajudar na superação dos meus limites e me conduzir a caminhos nunca antes almejados. Você é minha fonte de inspiração. Amo-te para sempre.

Resumo

O estudo pretende analisar a influência de revestimentos com pintura termo cromática no desempenho energético de um edifício unifamiliar. O desenvolvimento de soluções que contribuam para a melhora do comportamento energético dos edifícios é uma questão premente na atualidade, já que as condições climáticas se agravaram e, por conseguinte, as necessidades de arrefecimento e aquecimento no interior das habitações aumentaram.

A metodologia de avaliação está dividida em duas partes: ensaios experimentais e simulação numérica. Para a análise experimental, foram produzidos provetes de três tipos de argamassas, sendo duas à base de cimento branco e uma à base de cal aérea. Com o intuito de conferir um desempenho térmico melhorado, foram utilizados 30% de resíduos de madeira, em substituição à areia, em uma das argamassas à base de cimento branco. Os provetes foram pintados nos sistemas de cores branca, preta e termo cromática. Então, realizaram-se ensaios para aferir as características físicas e mecânicas das argamassas, bem como para atestar e comparar o comportamento dos diferentes sistemas de pintura.

A avaliação numérica foi realizada pelo programa EnergyPlus, a partir do projeto de um edifício unifamiliar localizado na cidade de Lisboa. Os resultados das simulações indicam que um reboco exterior com pintura termo cromática proporcionaria uma poupança energética entre 33,3% a 35,2%, quando comparado a um sistema de pintura preta; e entre 10% a 12,4%, quando comparado a um sistema de pintura branca. A argamassa de cimento branco com resíduos de madeira e pintura termo cromática apresentaria o menor consumo energético anual.

Conclui-se que as argamassas de revestimento exterior com incorporação de resíduos de madeira e pintura termo cromáticas constituem uma opção vantajosa para o desempenho energético de edifícios, sendo que os seus benefícios no interior das habitações alcançam tanto a estação de aquecimento quanto a de arrefecimento.

Palavras-chave: Tinta termo cromática; Argamassa de revestimento; Resíduo de madeira; Simulação energética; EnergyPlus.

Abstract

The present study analyzes the influence of thermo-chromatic painting system on the energy saving performance of buildings. Nowadays, the development of solutions that can contribute to improve energy savings in buildings is a big issue, as weather conditions have worsened, so the demands for indoor cooling and heating have increased.

The methodology is divided into two parts: experimental tests and energetic simulations. For the experimental analysis, three types of mortars were produced, two based on white cement and one based on air lime. To provide an improved thermal performance on the behavior of mortars, 30% of wood wastes were used instead of sand in one of the white cement-based mortars applied as renders. The mortar samples developed were painted with white, black and thermo-chromatic paint systems. Laboratory tests were performed to measure the physical and mechanical characteristics of mortars, as well as to attest and compare the behavior of the different paint systems.

The numerical simulation was performed by EnergyPlus software, from a single-family building located in the city of Lisbon. Different simulations were performed varying the types of the exterior renders and their painting systems. The results indicate that an exterior render with a thermo-chromatic paint would provide an energy consumption improvement between 33.3% to 35.2% when compared to a black paint system and between 12.4% and 10%, when compared to a white painting system. The white cement with wood waste render and thermo-chromatic paint would present the lowest annual energy consumption.

Thus, an exterior render that incorporates wood waste and thermo-chromatic paint is an advantageous option for the energy saving of buildings. Its energy benefits achieved both seasons, winter and summer.

Keywords: Thermo-chromatic paint; rendering mortar; Wood waste; Energy simulation; EnergyPlus.

Índice

Agradecimentos	III
Resumo	V
Abstract	VII
Índice de figuras	XIII
Índice de quadros	XVII
Índice de tabelas	XIX
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos	XXI
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e metodologia	2
1.3 Estrutura	3
2 Estado do conhecimento	5
2.1 Considerações iniciais	5
2.2 Fenómenos da transmissão de calor	5
2.2.1 Condução	5
2.2.2 Convecção	6
2.2.3 Radiação	6
2.3 Comportamento térmico em edifícios	7
2.3.1 Transmissão de calor nas envolventes do edifício	7
2.3.1.1 Coeficiente de transmissão térmica (U)	9
2.3.1.2 Ponte térmica e zona corrente	10
2.3.1.3 Influência dos isolamentos térmicos e espaços de ar não-ventilados	10
2.3.1.4 Radiação solar	11
2.3.1.5 Outros condicionantes	12
2.4 Conforto térmico em edifícios	13
2.5 Balanço térmico em edifícios	14
2.6 Influência das argamassas de revestimento no conforto térmico dos edifícios	15
2.6.1 Composição das argamassas	16
2.6.2 Influência das argamassas no desempenho funcional, ambiental e térmico	18
2.6.3 Incorporação de resíduos de madeira	21
2.7 Influência das pinturas no conforto térmico dos edifícios	21
2.7.1 Composição dos sistemas de pintura	22
2.7.2 Classificação das tintas/vernizes	23
2.7.3 Propriedades dos sistemas de pintura	24

2.7.4	Influência das pinturas no desempenho funcional, ambiental e térmico nos edifícios	25
2.7.5	Pintura termo cromática	28
3	Procedimento experimental.....	31
3.1	Considerações iniciais	31
3.2	Materiais utilizados na produção dos provetes	31
3.2.1	Ligantes.....	32
3.2.2	Agregados.....	33
3.2.3	Aditivos.....	34
3.2.4	Água	35
3.2.5	Tintas e Vernizes	35
3.2.6	Pigmento termo cromático	35
3.3	Ensaio realizados nos materiais	36
3.3.1	Análise granulométrica dos agregados.....	36
3.3.2	Baridade.....	38
3.4	Fabricação das argamassas e provetes.....	40
3.4.1	Plano de ensaios e tipos de provetes	40
3.4.2	Preparação das argamassas	40
3.4.2.1	Composição	40
3.4.2.2	Amassadura	41
3.4.3	Preparação dos provetes	42
3.4.3.1	Moldagem e condicionamento dos provetes	42
3.4.3.2	Pintura dos provetes	43
3.5	Ensaio realizados nas argamassas	45
3.5.1	Ensaio de caracterização das argamassas	45
3.5.1.1	Consistência por espalhamento.....	45
3.5.1.2	Resistência mecânica à flexão	46
3.5.1.3	Resistência mecânica à compressão	48
3.5.1.4	Porosidade aberta e massa volúmica aparente	49
3.5.1.5	Condutibilidade térmica	50
3.6	Ensaio realizados nas argamassas com acabamento	51
3.6.1	Coesão superficial.....	51
3.6.2	Dureza superficial	52
3.6.3	Erosão por desgaste à seco	53
3.6.4	Análise térmica na câmara climática	53
3.6.5	Termografia.....	54
4	Simulação numérica por meio do programa EnergyPlus	57
4.1	Considerações iniciais	57

4.2 Modelo de estudo	58
4.3 Parâmetros de simulação	59
4.4 Localização e clima	60
4.5 Horários	62
4.6 Elementos de construção da superfície	65
4.7 Descrição e geometria das zonas térmicas.....	67
4.8 Ganhos internos	68
4.9 Fluxo de ar	71
4.10 Controle das zonas térmicas: AVAC e termóstatos	71
4.11 Circuitos de ar forçados.....	72
4.12 Conexões do equipamento fictício	72
4.13 Relatórios de simulação	74
5 Apresentação e discussão dos resultados experimentais	75
5.1 Considerações iniciais	75
5.2 Resultados de caracterização dos materiais constituintes.....	75
5.2.1 Análise granulométrica dos agregados.....	75
5.2.2 Baridade	76
5.3 Resultados de caracterização das argamassas.....	77
5.3.1 Consistência por espalhamento.....	77
5.3.2 Resistência mecânica	78
5.3.3 Porosidade aberta e massa volúmica.....	79
5.3.4 Condutibilidade térmica.....	80
5.4 Resultado dos ensaios realizados nas argamassas e acabamentos.....	81
5.4.1 Coesão superficial.....	81
5.4.2 Dureza superficial	82
5.4.3 Erosão por desgaste à seco	83
5.4.4 Análise térmica na câmara climática	84
5.4.5 Termografia.....	86
5.4.5.1 Análise dos resultados utilizando as fotografias.....	87
5.4.5.2 Análise dos resultados com gráficos separados por tipo de argamassas.....	89
5.4.5.3 Análise dos resultados a partir de gráficos separados por tipo de pinturas	90
6 Resultados de simulação numérica no EnergyPlus	93
6.1 Considerações iniciais	93
6.2 Resultados das simulações	93
6.2.1 Perdas e ganhos energéticos	93
6.2.1.1 Reboco exterior com a argamassa CAA	93
6.2.1.2 Reboco exterior com a argamassa CBA	97

6.2.1.3	Reboco exterior com a argamassa CBAP	100
6.2.1.4	Síntese dos resultados das perdas e ganhos energéticos	103
6.2.2	Necessidades energéticas	104
6.2.2.1	Reboco exterior com argamassa de CAA	104
6.2.2.2	Reboco exterior com a argamassa CBA	107
6.2.2.3	Reboco exterior com a argamassa CBAP	109
6.2.2.4	Síntese dos resultados das necessidades energéticas	111
7	Discussões e conclusões	115
7.1	Avaliação experimental	115
7.2	Avaliação numérica	117
7.3	Apreciação geral	118
7.4	Trabalhos futuros	120
	Referências bibliográficas	121
	Anexos	127
	Anexo A – Fichas técnicas	127
	Anexo B – Projeto	143
	Apêndices	145
	Apêndice A – Resultado dos ensaios	145
	Apêndice B – Determinação da condutibilidade térmica (U) nas soluções construtivas	150

Índice de figuras

Figura 2.1 – Fluxo de calor na envolvente do edifício	9
Figura 2.2 – Radiação Solar na envolvente do edifício	11
Figura 2.3 – Balanço energético	15
Figura 2.4 – Distribuição dos diferentes tipos de argamassas nas edificações	19
Figura 2.5 – Aspectos relevantes das argamassas no desempenho ambiental.....	19
Figura 2.6 – Propriedades que influenciam o desempenho ambiental	20
Figura 2.7 – Componentes das tintas	22
Figura 2.8 – Processo de coalescência nas tintas aquosas	24
Figura 2.9 – Coeficientes de absorção x composição espectral.....	26
Figura 3.1 – Cimento Branco ensacado	32
Figura 3.2 – Argmassa - Produto	32
Figura 3.3 – Cal aérea ensacada	33
Figura 3.4 – Cal Aérea - Produto	33
Figura 3.5 – Areia amarela ensacada	33
Figura 3.6 – Areia - Produto	33
Figura 3.7 – Resíduo de madeira ensacados	34
Figura 3.8 – Superplastificante ViscoCrete®-225	34
Figura 3.9 – Tinta branca mate	35
Figura 3.10 – Tinta preta mate	35
Figura 3.11 – Verniz incolor mate	35
Figura 3.12 – Pigmento termo cromático ensacado	36
Figura 3.13 – Pesagem da amostra e peneiração mecânica.....	37
Figura 3.14 – Pesagem das amostras de cimento branco, cal aérea e resíduos.....	39
Figura 3.15 – Misturador mecânico e cuba durante fase de homogeneização	42
Figura 3.16 – Moldagem dos provetes tipo 3, dos provetes tipo 1 e dos provetes tipo 4	43
Figura 3.17– Sistemas de pintura nos provetes tipo 3 e tipo 4	45
Figura 3.18 – Ensaio sendo realizado na argamassa CBA: argamassa molde e mesa de espalhamento e medição d'	46
Figura 3.19 – Prisma da argamassa CAA a ser ensaiado	47
Figura 3.20 – Prisma a ser ensaiado na argamassa CBAP.....	48
Figura 3.21 – Exsicador aberto com a disposição dos semi-prismas e sobre pressão	50
Figura 3.22 – ISOMET Model 2014 e sonda API 210412.....	50
Figura 3.23 – Ensaio de coesão superficial na argamassa CAA: passos 3 e 4	52
Figura 3.24 – Ensaio de dureza superficial	52
Figura 3.25 – Ensaio de abrasão superficial	53
Figura 3.26 – Câmara climática FITOCLIMA	54
Figura 3.27 – Câmara termográfica ThermaCAM™ B4	55

Figura 4.1 – EnergyPlus – cenário (Getting Started)	57
Figura 4.2 – Modelo utilizado	58
Figura 4.3 – IDF Editor – parâmetro <i>building</i>	59
Figura 4.4 – IDF Editor – período de simulação	61
Figura 4.5 – IDF Editor – temperaturas do solo	61
Figura 4.6 – IDF Editor – limite de horários.....	62
Figura 4.7 – IDF Editor – rotina de horários	63
Figura 4.8 – IDF Editor – materiais	65
Figura 4.9 – IDF Editor – rebocos exteriores	65
Figura 4.10 – IDF Editor – vidros	66
Figura 4.11 – IDF Editor – construção	67
Figura 4.12 – IDF Editor – detalhamento das superfícies.....	68
Figura 4.13 – IDF Editor – portas e janelas de vidro.....	68
Figura 4.14 – IDF Editor – pessoas.....	69
Figura 4.15 – IDF Editor – luzes.....	70
Figura 4.16 – IDF Editor – equipamentos elétricos.....	70
Figura 4.17 – IDF Editor – equipamento fictício	71
Figura 4.18 – Equipamento fictício.....	72
Figura 4.19 – IDF Editor – lista de equipamentos	73
Figura 4.20 – IDF Editor – lista de conexões	73
Figura 5.1 – Curvas granulométricas	75
Figura 5.2 – Valores de resistência mecânica das argamassas.....	78
Figura 5.3 – Valores de porosidade aberta e massa volúmica das argamassas	79
Figura 5.4 – Valores de massa volúmica e condutibilidade térmica das argamassas.....	80
Figura 5.5 – Valores de coesão superficial dos diferentes sistemas de acabamento	82
Figura 5.6 – Valores de dureza superficial dos diferentes sistemas de acabamento.....	82
Figura 5.7 – Valores de abrasão a seco dos diferentes sistemas de acabamento	83
Figura 5.8 – Provetes tipo 4 dentro da camara climática à temperatura de 20°C e 26°C	84
Figura 5.9 – Provetes tipo 4 dentro da camara climática à temperatura de 28.5°C e 31°C	85
Figura 5.10 – Provetes tipo 4 dentro da camara climática à temperatura de 37°C e novamente 20°C	85
Figura 5.11 – Tonalidades do sistema de pintura nas amostras.	86
Figura 5.12 – Amostras no ensaio de termografia com a fonte de energia desligada.....	87
Figura 5.13 – Amostras no ensaio de termografia com a fonte de energia ligada.	87
Figura 5.14 – Imagens do ensaio de termografia	88
Figura 5.15 – Imagens do ensaio de termografia, argamassas CAA-PT	88
Figura 5.16 – Temperatura superficial x tempo para as argamassas de cal aérea; cimento branco e cimento branco com resíduo.	89
Figura 5.17 – Temperatura superficial x tempo para o sistema de pintura preta; sistema de pintura branca; e sistema de pintura termo crômica.	91
Figura 6.1 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CAA-PP	94
Figura 6.2 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CAA-PB	95

Figura 6.3 – Trocas térmicas na argamassa CAA com pintura termo cromática	96
Figura 6.4 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBA-PP	98
Figura 6.5 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBA-PB	99
Figura 6.6 – Trocas térmicas na argamassa CBA com pintura termo cromática	99
Figura 6.7 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBAP-PP	101
Figura 6.8 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBAP-PB	102
Figura 6.9 – Trocas térmicas na argamassa CBAP com pintura termo cromática	102
Figura 6.10 – Ganhos e perdas de energia das pinturas termo cromáticas no período de aquecimento e arrefecimento.....	103
Figura 6.11 – Consumos de energia no edifício para diferentes sistemas de pintura.....	105
Figura 6.12 – Potencial de economia energética no edifício por estação do ano	106
Figura 6.13 – Potencial de economia energética anual do edifício comparado as outras pinturas....	106
Figura 6.14 – Consumos de energia no edifício no período de aquecimento e arrefecimento	107
Figura 6.15 – Potencial de economia energética no edifício por período	108
Figura 6.16 – Potencial de economia energética do edifício comparado as outras pinturas	108
Figura 6.17 – Consumos de energia no edifício no período de aquecimento e arrefecimento	109
Figura 6.18 – Potencial de economia energética no edifício por período	110
Figura 6.19 – Potencial de economia energética do edifício comparado as outras pinturas	110
Figura 6.20 – Pintura termo cromática nas diferentes argamassas – inverno.....	111
Figura 6.21 – Pintura termo cromática nas diferentes argamassas – verão	112
Figura 6.22 – Necessidades energéticas anuais das argamassas – pinturas termo cromática e pinturas pretas.....	112
Figura 6.23 – Necessidades energéticas anuais das argamassas – pinturas termo cromáticas e pinturas brancas	113

Índice de quadros

Quadro 2.1 – Parâmetros que influenciam a sensação de conforto	13
Quadro 2.2 – Classificação dos agregados	17
Quadro 2.3 – Adjuvantes correntes.....	18
Quadro 2.4 – Aditivos correntes.....	18
Quadro 3.1 – Definição e geometria dos provetes por tipo de ensaios	40
Quadro 3.2 – Sistema de pintura adotado nos provetes tipo 4.....	44

Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Resistências térmicas exteriores e interiores.....	9
Tabela 2.2 – Resistências térmicas dos espaços de ar não-ventilados	11
Tabela 3.1 – Peneiras série ASTM	37
Tabela 3.2 – Composição das argamassas	41
Tabela 4.1 – Equipamentos elétricos utilizados	64
Tabela 4.2 – Cronograma de utilização dos equipamentos elétricos	64
Tabela 5.1 – Módulo de finura e percentagem de resíduos utilizados	76
Tabela 5.2 – Resultados de baridade	76
Tabela 5.3 – Resultados de consistência e relação A/L	77
Tabela 5.4 – Resultados dos ensaios de resistência mecânica	78
Tabela 5.5 – Comparação entre os resultados massa volúmica e condutibilidade térmica para argamassas de cimento ou cal: ITE50 e este trabalho	81
Tabela 6.1 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CAA – PP	94
Tabela 6.2 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CAA – PB	95
Tabela 6.3 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CAB – PP	97
Tabela 6.4 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBA – PB	98
Tabela 6.5 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBAP – PP	100
Tabela 6.6 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBAP – PB	101
Tabela 6.7 – Melhorias proporcionadas pela pintura termo cromática nas envolventes	103

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

Abreviaturas

Argamassa CAA	Argamassa de Cal Aérea e Areia
Argamassa CAA-PP	Argamassa de Cal Aérea e Areia com sistema de Pintura Preta
Argamassa CAA-PB	Argamassa de Cal Aérea e Areia com sistema de Pintura Branca
Argamassa CAA-PT	Argamassa de Cal Aérea e Areia com sistema de Pintura Termo cromática
Argamassa CBA	Argamassa de Cimento Branco e Areia
Argamassa CBA-PP	Argamassa de Cimento Branco e Areia com sistema de Pintura Preta
Argamassa CBA-PB	Argamassa de Cimento Branco e Areia com sistema de Pintura Branca
Argamassa CBA-PT	Argamassa de Cimento Branco e Areia com sistema de Pintura Termo cromática
Argamassa CBAP	Argamassa de Cimento Branco, Areia e Pellet
Argamassa CBAP-PP	Argamassa de Cimento Branco, Areia e Pellet com sistema de Pintura Preta
Argamassa CBAP-PB	Argamassa de Cimento Branco, Areia e Pellet com sistema de Pintura Branca
Argamassa CBAP-PT	Argamassa de Cimento Branco, Areia e Pellet com sistema de Pintura Termo cromática

Siglas

AQS	Água quente sanitária
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CSOPT	Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes
CVP	Concentração Volumétrica dos Pigmentos e cargas
CEN	<i>Comité Européen de Normalisation</i>
DEC	Departamento de Engenharia Civil da FCT/UNL
DOE	Departamento de Energia dos Estados Unidos
EN	Norma Européia
FCT/UNL	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
IPQ	Instituto Português da Qualidade
ITE50	Informação Técnica de Edifícios – Série 50
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NP	Norma Portuguesa
SEEDF	Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal
SRTM	Smart Reversible Thermochromic Mortar
XPS	Poliestireno expandido extrudido

Símbolos	Designação	Unidade
A	área da superfície	[m ²]
c	velocidade da luz	[m/s]
dT/dx	gradiente de temperatura na direção x	[°C]
ε	emissividade de um corpo	
f	frequência	[Hz]
h_c	condutância térmica superficial por convecção	[W/(m ² .°C)]
h_e	condutância térmica exterior	[W/(m ² .°C)]
h_i	condutância térmica interior	[W/(m ² .°C)]
h_r	condutância térmica superficial por radiação	[W/(m ² .K)]
q	fluxo de calor	[W/m ²]
Q_{Cond}	quantidade de calor transferido por condução	[W]
Q_{Conv}	quantidade de calor transferido por convecção	[W]
Q_{Rad}	quantidade de calor transferido por radiação	[W]
R	resistência térmica do elemento	[(m ² .°C)/W]
T_1	temperatura da superfície 1	[°C]
T_2	temperatura ambiente 2	[°C]
T_{env}	temperatura da envolvente	[K]
T_i	temperatura interior	[°C]
T_e	temperatura exterior	[°C]
T_s	temperatura da superfície	[K, °C]
T_{se}	temperatura superficial exterior	[°C]
T_{si}	temperatura superficial interior	[°C]
α	radiação absorvida	
λ	condutibilidade térmica do material	[W/(m.°C)]
σ	constante de Stefan-Boltzmann 5,67x10 ⁻⁸	[W/(m ² .K ⁴)]
ρ	radiação refletida	
τ	radiação transmitida	
U	coeficiente de transmissão térmica	[W/(m ² .°C)]
U_m	coeficiente de transmissão térmica médio	[W/(m ² .°C)];
U_i	coeficiente de transmissão térmica da zona i	[W/(m ² .°C)]
R_j	resistência térmica que compõem as camadas do elemento j	[(m ² .°C)/W]
R_{se}	resistência térmica superficial exterior	[(m ² .°C)/W]
R_{si}	resistência térmica superficial interior	[(m ² .°C)/W]
Q_{Nec_Arref}	necessidade energética de arrefecimento	[W]
Q_{Nec_Aquec}	necessidade energética de aquecimento	[W]
Q_{cond}	energia devido à condução pela envolvente	[W]
Q_{Vent}	energia devido à ventilação	[W]

Q_{GI}	energia devido aos ganhos internos	[W]
Q_{Rad_Sol}	energia devido à radiação solar	[W]
ρ_b	baridade	[kg/m ³]
P_b	massa volúmica	[kg/m ³]
P_{ab}	Porosidade aberta	[%]
M	massa	[kg]
MF	Módulo de finura	
%M	percentagem em massa do material	[%]
V	volume	[l]
d	dimensão	[cm]
R_t	resistência à flexão	[MPa]
$F_{f,máx}$	carga de rotura aplicada no centro do prisma	[N]
l	distância entre pontos de apoio	[mm]
b	dimensão do lado da secção quadrada do prisma	[mm]
R_c	resistência à compressão	[MPa]
F_c	carga de rotura máxima aplicada sobre o semi-prisma	[N]

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A conciliação da noção de conforto térmico em edifícios com a de uso racional de energia e equilíbrio ambiental é uma busca da construção civil nos dias de hoje. A questão insere-se no conceito de sustentabilidade que, por sua vez, envolve vertentes de natureza ambiental, energética e económica.

A complexidade do problema transcende a simples redução de consumo energético a qualquer custo. A necessidade de proporcionar aos usuários de um edifício conforto térmico não pode ser relativizada ou diminuída. No ano de 2017, as condições climáticas foram responsáveis por quase um quinto do aumento da demanda global de energia, na medida em que as temperaturas médias do inverno e do verão em algumas regiões se aproximaram ou excederam os recordes históricos, aumentando, por conseguinte, as demandas por arrefecimento e aquecimento (IEA, 2018b). Nessa perspectiva, a conservação de energia em edifícios não pode ser entendida no sentido absoluto de redução do consumo, mas sim de alcance de limiares de habitabilidade, designadamente conforto térmico sem desperdícios (Piedade et al, 2000).

No outro extremo, dados mostram que os setores de construção civil e edifícios combinados são responsáveis por 36% do consumo final global de energia e quase 40% do total de emissões diretas e indiretas de CO₂. Não suficiente, a demanda de energia de edifícios e da construção civil não para de crescer, aumentando quase 3% ao ano (IEA, 2018a).

Na reabilitação de edifícios, o binómio conforto térmico/sustentabilidade é igualmente importante. Contudo, nesses casos, o desafio parece ser ainda maior, na medida em que é necessário pensar em soluções económica e ambientalmente viáveis para proporcionar o bem-estar térmico para seus utilizadores, a partir de edifícios que, muitas vezes, foram construídos sem qualquer tipo de preocupação com conforto ou economia energética.

Sob a perspectiva financeira, dentre os gastos de uma construção convencional, os dispêndios com climatização, tanto para aquecimento quanto para arrefecimento, dependem predominantemente das envolventes exteriores. Nesse contexto, as propriedades dos revestimentos ganham protagonismo em termos higratérmicos e lumínicos. As várias soluções de revestimento, tais como telhas, membranas, rebocos, tintas, etc., absorvem a radiação solar e dissipam parte do calor acumulado através de processos condutivos, convectivos e radiativos, de modo a incrementar a temperatura do edifício e do meio ambiente. As características técnicas e propriedades térmicas dos elementos construtivos são decisivas, portanto, no consumo de energia e nas condições de conforto térmico dos ocupantes do edifício (Gonçalves, 2014). As argamassas, por exemplo, são responsáveis por praticamente 10% da energia incorporada e do custo económico dos materiais utilizados por metro quadrado na construção convencional (Mendonça, 2005).

O desenvolvimento de soluções de revestimento que contribuam para a melhora do comportamento energético das envolventes exteriores dos edifícios é, pois, uma questão premente na atualidade.

O uso de resíduos em revestimento é uma maneira de confluência de conforto térmico e sustentabilidade ambiental. A reutilização de resíduos apresenta vários benefícios económicos e ambientais, na medida em que minimiza a extração de recursos naturais e limita seu potencial poluidor, proveniente das atividades extrativas, de processamento e transporte da matéria-prima. A substituição do agregado corrente, qual seja, a areia, por resíduos de madeira é um exemplo de como produzir argamassas mais eficientes energeticamente, e, ao mesmo tempo, mais sustentáveis (Silva, 2017).

Tratando-se de uma envolvente exterior, assim como no caso das argamassas, o desenvolvimento de pinturas capazes de proporcionar maior conforto térmico e diminuir gastos energéticos também se insere perfeitamente na conjuntura da problemática ora explanada. O incremento da reflexão solar nas superfícies urbanas é uma das maneiras mais fáceis de economizar energia, poupar dinheiro e, naturalmente, reduzir as emissões poluentes. Há muito já está provado que o mero aumento da reflexão solar de um único edifício é capaz de proporcionar entre 20% a 40% de poupança direta de energia (Rosenfeld et al., 1995). Sob esse prisma, a pintura termo cromática surge como mais um elemento merecedor de atenção académica daqueles que se debruçam sobre a temática.

1.2 Objetivos e metodologia

Ante a problemática da necessidade de economia energética sem prejuízos para o conforto térmico, nomeadamente com a preocupação em desenvolver soluções de revestimento que contribuam para a melhoria do desempenho térmico das fachadas dos edifícios, a presente dissertação pretende analisar a influência de determinados revestimentos de pintura com propriedades termo cromáticas no desempenho energético de um edifício de habitação, recorrendo, para tanto, a um modelo numérico e a ensaios experimentais.

Para isso, foi estabelecido um plano de trabalho: seriam necessários ensaios experimentais e simulações em um programa de cálculos energéticos. Com o escopo de delimitar melhor o universo experimental, foram escolhidos três tipos de argamassas de cores naturalmente claras: de cimento branco, de cal aérea e de cimento branco com resíduos de madeira. O intuito principal foi verificar os desempenhos térmicos desses revestimentos, com e sem pintura termo cromática. Antes disso, contudo, cada argamassa teve algumas de suas propriedades físicas analisadas separadamente.

Nesse contexto, foram produzidos em laboratório provetes dos aludidos três tipos de argamassas e, em seguida, pintados com os sistemas de cores branca, preta e termo cromática. Ressalte-se que as pinturas brancas e pretas serviram basicamente com referencial experimental para a avaliação do sistema de pintura termo cromática.

Após a realização dos ensaios experimentais, os valores e resultados obtidos subsidiaram os dados de alimentação do programa de modelação numérica escolhido, o EnergyPlus. Esse software

viabilizou simulações energéticas em um modelo de edifício de habitação unifamiliar com revestimento variante entre as três argamassas pré-definidas, combinadas com os sistemas de pintura branca e preta. Os resultados para a pintura termo cromática foram obtidos a partir da premissa de que o revestimento exterior estaria na cor branca na estação de verão e na cor preta na estação de inverno.

1.3 Estrutura

Esta dissertação está dividida em sete capítulos, bibliografia, anexos e apêndices.

No presente capítulo, realiza-se um enquadramento temático e são apresentados os objetivos, a metodologia do estudo, bem como a estrutura do texto.

O segundo capítulo é sobretudo teórico. Fundado na pesquisa bibliográfica e na revisão literária, aborda noções gerais de conforto e comportamento térmico, bem como a influência de suas propriedades no desempenho das argamassas e tintas, numa perspectiva funcional, ambiental e, principalmente, térmica. Para tanto, destaca-se o uso de resíduos na fabricação de revestimentos e a aplicação de pinturas termo cromáticas.

O terceiro capítulo narra os procedimentos experimentais. São descritos os planos de ensaio, os materiais utilizados para a fabricação dos três tipos de argamassas, a produção dos provetes e a aplicação dos sistemas de pintura. Em seguida, são relatados os ensaios experimentais realizados nas diferentes combinações de provetes.

No quarto capítulo, o software EnergyPlus, usado para as simulações energéticas, é apresentado. Explica-se o modelo de estudo adotado, bem como todos os dados e condicionantes que alimentaram o programa. Por fim, expõe-se a lista de variáveis com os resultados de simulação efetivamente utilizados.

O quinto capítulo analisa os resultados obtidos nos ensaios experimentais descritos no capítulo terceiro. Também são objeto de discussão os resultados diferentes do inicialmente esperado.

No sexto capítulo, são apresentados os resultados referentes às simulações numéricas efetuadas no software EnergyPlus. Além disso, foram estimados os benefícios energéticos que os diferentes revestimentos de pintura termo cromática poderiam gerar ao modelo.

No sétimo e último capítulo, apresentam-se as discussões e as conclusões de todos os resultados, tanto os experimentais, quanto os de modelação numérica. Realiza-se uma análise crítica dos valores alcançados. Após um balanço acerca do alcance dos objetivos inicialmente propostos, sugerem-se temas para a progressão da presente pesquisa em estudos futuros.

Por fim, expõe-se a bibliografia consultada e os anexos pertinentes.

2 Estado do conhecimento

2.1 Considerações iniciais

A partir de extensa pesquisa bibliográfica, este capítulo faz uma abordagem teórica dos conceitos centrais ao desenvolvimento da presente dissertação de mestrado, com enfoque nas questões do conforto térmico e da influência energética das argamassas e das tintas. Para tanto, inicia-se com a abordagem da noção de comportamento térmico dos edifícios e seus fluxos de calor através das envolventes. Em seguida, chega-se propriamente à temática do conforto térmico, centrada na discussão do balanço térmico, perdas e ganhos energéticos, bem como necessidades de aquecimento e arrefecimento de um edifício. Por fim, analisam-se as influências das argamassas e das tintas no comportamento térmico dos edifícios, numa perspectiva funcional e ambiental, com destaque para o uso de resíduos na fabricação de revestimentos e a aplicação de pinturas termo cromáticas.

2.2 Fenómenos da transmissão de calor

A transferência de calor entre dois corpos trata, em regra, de uma busca por um estado de equilíbrio. A condição essencial para a transmissão de calor entre dois corpos é a existência de diferença de temperaturas entre eles. Esse fluxo de energia pode ocorrer de três formas: condução, convecção ou radiação, a seguir detalhados.

2.2.1 Condução

A condução é a forma de transmissão de calor mais comum entre dois corpos. Duas condições são necessárias: os corpos devem estar no estado líquido ou sólido e em contato direto entre si.

A determinação das transferências de calor por condução é feita a partir da Lei de Fourier, segundo a qual o fluxo de calor numa dada direção é proporcional ao gradiente de temperatura nessa direção, da condutibilidade térmica do material e da sua área (Henriques, 2016). Sua expressão numérica é dada pela equação (1).

$$Q_{Cond} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

em que:

Q_{Cond} – é a quantidade de calor transferido por condução [W];

λ – é a condutibilidade térmica do material [W/m.°C];

A – é a área da superfície [m²];

$\frac{dT}{dx}$ – é o gradiente de temperatura na direção x [°C];

A condutibilidade térmica (λ) é definida como a quantidade de calor [W] que atravessa uma espessura unitária de material [m], quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura [°C] (Henriques, 2016).

A capacidade de condução de calor dos materiais não é igual. Existem alguns materiais com maior capacidade de condução, como é o caso dos metais, e outros com menor capacidade de condução, como é o caso das madeiras. Materiais com $\lambda < 0,065 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$ são considerados isolantes térmicos (Santos e Matias, 2006).

2.2.2 Convecção

Trata-se de uma forma específica de condução, típica dos fluidos. À medida que sua temperatura aumenta, o estado de agitação das moléculas também aumenta, diminuindo, assim, a sua massa volúmica.

A determinação das transferências de calor por convecção entre uma superfície e o ambiente é dada pela lei de arrefecimento de Newton – equação (2):

$$Q_{conv} = h_c \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \quad (2)$$

em que:

Q_{conv} – é a quantidade de calor transferido por convecção [W];

h_c – é a condutância térmica superficial por convecção [$\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$];

A – é a área superficial de contacto entre o elemento sólido e o fluido [m^2];

T_1 – é a temperatura da superfície [°C];

T_2 – é a temperatura do ambiente [°C].

A condutância térmica superficial não depende somente do estado do material, isto é, do fluido em si. É necessário averiguar algumas circunstâncias específicas, quais sejam, a geometria da superfície, a natureza do fluido e o tipo de movimento existente (natural ou forçado).

2.2.3 Radiação

A radiação ou radiação eletromagnética é emitida por todos os corpos e ocorre principalmente através de misturas gasosas e sólidos transparentes. Ela propaga-se à velocidade da luz (c), por meio de uma frequência (f) e de um comprimento de onda (λ), variáveis a depender do seu tipo.

A radiação térmica é uma parte da radiação eletromagnética, sendo gerada pelo movimento térmico das partículas da matéria, isto é, pela sua temperatura. Quando um corpo está completamente envolvido por outro muito maior, essa radiação pode ser calculada segundo uma derivação da lei de Stefan-Boltzmann, conforme a equação (3).

$$Q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{env}^4) \quad (3)$$

em que:

Q_{rad} – é a quantidade de calor transferido por radiação [W];

ε – é a emissividade de um corpo, que varia entre 0 e 1;

σ – constante de Stefan-Boltzmann, com o valor de $5,67 \times 10^{-8}$ [W/m².K⁴];

A – área [m²];

T_s – corresponde a temperatura da superfície [K];

T_{env} – corresponde a temperatura da envolvente [K].

A radiação térmica que incide sobre uma superfície qualquer é em parte refletida (ρ), transmitida (τ) e absorvida (α), em percentagens diferentes, em função das características dessa superfície. Em suma, temos que para um corpo transparente (equação 4),

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (4)$$

enquanto que, para um corpo opaco (equação 5),

$$\alpha + \rho = 1 \quad (5)$$

Nessa perspectiva, quanto maior o coeficiente de absorção de uma superfície, mais energia ela absorve, o que poderá ser positivo em condições de tempo frio e negativo em condições de tempo quente (Henriques, 2016).

2.3 Comportamento térmico em edifícios

O comportamento térmico dos edifícios deve ser entendido como o conjunto de fenómenos de natureza térmica que determinam e condicionam o comportamento das construções, ou seja, é o principal objeto de estudo da termodinâmica das edificações. O estudo do comportamento térmico permite a previsão de determinadas consequências e, por conseguinte, a prevenção de problemas e o aumento do conforto térmico dos edifícios. Nesse contexto, a análise do comportamento térmico em edifício é feita por meio da aplicação de conceitos de transmissão de calor.

2.3.1 Transmissão de calor nas envolventes do edifício

Considerando a transmissão de calor unidirecional, em regime permanente, entre as zonas interiores e exteriores de um edifício, o fluxo térmico pode ocorrer em três situações (Henriques, 2016):

1. Entre o ambiente interior e o elemento construtivo – a transmissão térmica resulta da (I) convecção do ar em contato com o elemento construtivo e (II) radiação de outros elementos que compõem o ambiente interior. É expresso pela equação (6):

$$q = h_i \cdot (T_i - T_{si}) \quad (6)$$

em que:

q – é o fluxo de calor [W/m²];

h_i – é a condutância térmica interior¹ [W/m².°C];

T_i – é a temperatura interior [°C];

T_{si} – é a temperatura superficial interior [°C].

2. No interior do elemento construtivo – fluxo térmico proveniente da condução entre as camadas constituintes do elemento. É expresso pela equação (7):

$$q = \frac{(T_{si} - T_{se})}{R} \quad (7)$$

em que:

q – é o fluxo de calor [W];

T_{si} – é a temperatura superficial interior [°C];

T_{se} – é a temperatura superficial exterior¹ [°C];

R – é o somatório das resistências térmicas das camadas constituintes do elemento [m².°C/W]

3. Entre o ambiente exterior e o elemento construtivo – a transferência térmica resulta da (I) convecção do ar em contato com o elemento construtivo e (II) radiação solar e de outros elementos que compõem o ambiente exterior. É expresso pela equação (8):

$$q = h_e \cdot (T_e - T_{se}) \quad (8)$$

em que:

q – é o fluxo de calor [W/m²];

h_e – é a condutância térmica exterior [W/(m².°C)];

T_e – é a temperatura exterior [°C];

T_{se} – é a temperatura superficial exterior [°C].

Basicamente, constata-se que as trocas térmicas relativas às envoltentes de um edifício são devidas à radiação solar exterior, à radiação interior, aos fenômenos de convecção que ocorrem nas superfícies das envoltentes (e eventuais caixas de ar) e aos fenômenos de condução que ocorrem no interior da envoltente (ver figura 2.1):

¹ A condutância térmica interior e exterior corresponde à soma da condutância térmica superficial por convecção (h_c) e radiação (h_r).

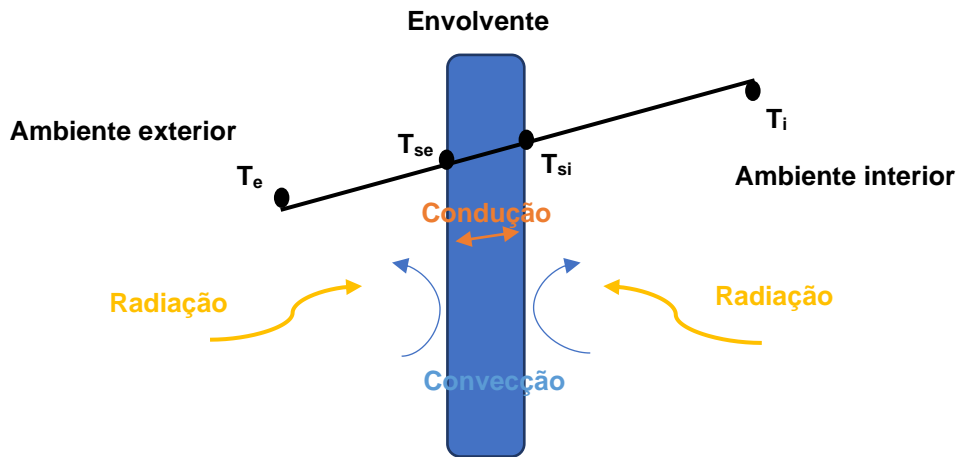


Figura 2.1 – Fluxo de calor na envoltura do edifício

A transmissão de calor por condução no interior das envolturas influencia bastante o comportamento térmico dos edifícios, tanto pelas perdas de calor através dos sistemas construtivos no inverno, quanto pelos ganhos indesejáveis de calor através dos mesmos sistemas no verão.

2.3.1.1 Coeficiente de transmissão térmica (U)

No interior das envolturas, o comportamento térmico de um sistema construtivo é mensurado pelo coeficiente de transmissão térmica (U), indicado segundo a norma europeia BS EN ISO 6946 (2017) e expresso pela equação (9) como:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (9)$$

em que

U – é o coeficiente de transmissão térmica [W/(m².°C)];

R_j – é o somatório das resistências térmicas que compõem as camadas do elemento [(m².°C)/W]

R_{se} – é a resistência térmica superficial exterior [(m².°C)/W]

R_{si} – é a resistência térmica superficial interior [(m².°C)/W]

Os valores das resistências térmicas superficiais, de acordo com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), encontram-se dispostos na tabela 2.1:

Tabela 2.1 – Resistências térmicas exteriores e interiores (m².°C/W) (Santos e Matias, 2006)

Sentido do fluxo de calor		R_{se}	R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

2.3.1.2 Ponte térmica e zona corrente

Os sistemas construtivos são formados por zonas heterogêneas na superfície e na profundidade, as quais dividem-se em zonas correntes e pontes térmicas. Ambas apresentam um padrão uniforme no que tange à sua forma e constituição interna, contudo as pontes térmicas são zonas por onde os fluxos de calor são inevitavelmente maiores, já que apresentam maior condutibilidade térmica. A título exemplificativo de zonas correntes, citam-se as zonas de blocos de alvenaria, as quais são as verdadeiras vedações de um edifício. Por outro lado, são exemplos costumeiros de pontes térmicas planas: os pilares, os talhões das vigas e as caixilharias de vãos envidraçados. Já as pontes térmicas lineares são, entre outras, as zonas de intersecção entre as paredes verticais exteriores ou entre as paredes e os pavimentos (Henriques, 2016).

Nesses sistemas, os coeficientes de transmissão térmica são calculados pela média dos valores encontrados em cada zona, por meio da equação (10):

$$U_m = \frac{\sum_{i=1}^n (U_i \cdot A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (10)$$

em que

U_m – é o coeficiente de transmissão térmica médio [W/(m².°C)];

U_i – é o coeficiente de transmissão térmica da zona i [W/(m².°C)];

A_i – é a área da superfície i [m²].

2.3.1.3 Influência dos isolamentos térmicos e espaços de ar não-ventilados

Com o escopo de minimizar perdas e ganhos energéticos através das envoltentes do edifício, existem medidas aptas a aumentarem a resistência térmica dos sistemas construtivos (Gonçalves e Graça, 2004). No caso das envoltentes opacas (paredes, coberturas e pavimentos), um dos métodos mais recorrentes é o da incorporação de materiais isolantes, com valores de condutibilidade térmica reduzidos. São exemplo desses materiais: a cortiça, o poliestireno expandido moldado ou extrudido, o poliuretano e as lãs minerais. Mais além, a forma de aplicação desses materiais, no exterior da envolvente, incorporado à envolvente ou em seu interior, também é relevante.

Nesse contexto, o isolamento térmico pelo exterior da envolvente caracteriza-se por proporcionar uma homogeneidade do isolamento ao longo da parede e tem como vantagem a correção das pontes térmicas planas. O isolamento térmico incorporado à envolvente está normalmente associado a soluções construtivas de parede dupla, separadas ou não por uma caixa-de-ar, que pode vir a ser preenchida parcialmente por isolante térmico. A aplicação do isolamento térmico pelo interior da envolvente tem como vantagem a acessibilidade, principalmente nos casos de reabilitação de edifícios. Contudo, pode tornar as paredes mais suscetíveis aos fenómenos de condensações internas.

O uso dos já citados espaços de ar não-ventilados também é uma alternativa térmica muito frequente nos sistemas de construção atuais. O valor da resistência térmica (R_{ar}) de cada caixa-de-ar

varia em função de sua espessura e do sentido do fluxo de calor daquela zona. Os valores convencionais das resistências térmicas, também de acordo com o LNEC, encontram-se dispostos na tabela 2.2:

Tabela 2.2 – Resistências térmicas dos espaços de ar não-ventilados (Santos e Matias, 2006)

Sentido do fluxo de calor		Espessura (mm)	Rar ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$)
Horizontal		< 5	0,00
		5	0,11
		10	0,15
		15	0,17
		25 a 300	0,18
Vertical	Ascendente	<5	0,00
		5	0,11
		10	0,15
		15 a 300	0,16
	Descendente	< 5	0,00
		5	0,11
		10	0,15
		15	0,17
		25	0,19
		50	0,21
		100	0,22
		300	0,23

2.3.1.4 Radiação solar

Outro fator de extrema relevância para as transmissões de calor na envolturas de um edifício é a ação solar. A radiação solar corresponde à radiação térmica emitida pelo sol, cujo espectro apresenta comprimento de onda compreendidos entre 0,1 e 3,0 μm (Henriques, 2016).

Nas envolturas externas dos edifícios, o aumento de temperatura deve-se sobretudo à absorção de radiação solar. E as características das superfícies dos materiais que compõem as envolturas determinam o modo como essa energia é absorvida (figura 2.2).

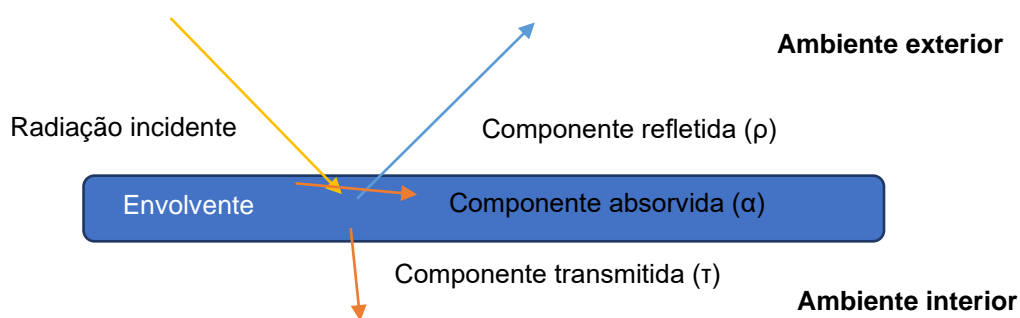


Figura 2.2 – Radiação Solar na envoltura do edifício

Os valores dos coeficientes de absorção (α), de reflexão (ρ) e de transmissão (τ) dependem do tipo de material da envoltura, de suas características, do tipo e ângulo de radiação incidente. (Henriques, 2016)

Nesse sentido, o comportamento reflexivo de uma superfície é caracterizado pela forma como ela reflete a luz que sobre si incide. Normalmente, quando a luz incide sobre uma superfície, essa aparenta ser mais brilhante. Esse brilho é máximo quando o ângulo de incidência solar é igual ao de

reflexão – reflexão especular. Por outro lado, diz-se que a reflexão é difusa quando a luz é refletida em todas as direções. Na maior parte do tempo, as superfícies costumam se comportar de uma forma intermediária entre essas duas formas reflexivas (Henriques, 2016).

Já o comportamento absorutivo das superfícies depende do comprimento de onda da radiação, do ângulo de incidência e de sua temperatura. Tratando-se de superfícies claras sujeitas à radiação solar, em regra, o aumento de temperatura não é grande, porquanto a energia absorvida é pequena e parte dela ainda é reemitida para o exterior. Por outro lado, em superfícies mais escuras, verifica-se um mais fácil aumento de temperatura, uma vez que a energia absorvida é substancialmente maior e a refletida bem menor. Já no período noturno, isto é, sem incidência solar, a quantidade de energia absorvida por ambas as superfícies é bastante similar (Henriques, 2016).

Por fim, o comportamento de transmissão verifica-se, em regra, nas superfícies transparentes. Uma janela de vidro normal, por exemplo, é quase totalmente transparente à radiação solar, mas é razoavelmente opaco à radiação térmica, cujo comprimento de onda difere da radiação solar (Hart, 1991).

- **Influência dos ganhos solares**

Os ganhos solares representam os ganhos de energia por meio da radiação solar que atinge o edifício. Porém, esses ganhos merecem destaque porque atuam de maneira distinta nas duas estações do ano. No inverno, os ganhos solares diminuem as necessidades de aquecimento, visto que aumentam a temperatura do edifício em quantidades consideráveis. Já no verão, o ganho de uma grande quantidade de energia tem como consequência o aumento das necessidades de arrefecimento. Desse modo, existem estratégias que podem ser implementadas para garantir um melhor aproveitamento dos ganhos solares no período de inverno e minimizar os ganhos no período de verão.

No hemisfério norte, por exemplo, para incrementar os ganhos solares durante a estação de aquecimento, as janelas dos edifícios devem ser direcionadas para a fachada sul. Já para minimizar os ganhos na estação de arrefecimento, uma das estratégias é aplicar sistemas de sombreamento nas janelas com orientação a poente ou a nascente, pois é onde haverá maior incidência de radiação solar.

Outra estratégia está na escolha de janelas. No geral, elas são zonas com grande potencial de perdas térmicas, por conta do alto valor da condutibilidade térmica dos vidros comuns ($\lambda = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$). Assim, a seleção de janelas com um conjunto “vidro/caixilho/persiana” que apresente valores de resistência térmica mais elevados, como as de vidros duplos e caixilharia com corte térmico e/ou com fator solar baixo², também é uma boa providência para lidar com os ganhos solares.

2.3.1.5 Outros condicionantes

No interior de uma habitação, a renovação do ar é um fator essencial para assegurar as condições de higiene e salubridade, mas também tem sua relevância de ordem térmica. Dessa maneira,

² Quanto mais baixo for o fator solar, menor a quantidade de radiação solar que atravessa o vidro.

com o intuito de minorar as perdas térmicas na estação de inverno, recomenda-se a redução dos caudais de ventilação nos edifícios, observando apenas o mínimo especificado nas exigências normativas (Rodrigues e Eusébio, 2009). No mesmo sentido, as deficiências de estanqueidade na envolvente exterior também devem ser observadas, principalmente as referentes às caixilharias de janelas e juntas de portas exteriores, onde as trocas de ar ocorrem essencialmente pela diferença de pressão entre o interior e o exterior das habitações (Henriques, 2016).

Outro fator que influencia a transferência de calor dos edifícios são os ganhos internos. Esses ganhos consubstanciam-se nas energias química e elétrica, provenientes do interior do edifício, convertidas em calor. Destarte, acarretam ganhos internos as luzes, os equipamentos que são usados no dia-a-dia, o calor produzido pelo corpo humano – proveniente do metabolismo, bem como o oriundo dos objetos interiores ou dos sistemas de água quente sanitária (AQS).

Vale ressaltar a dificuldade de quantificação desse tipo de ganho, na medida em que variam consoante o tipo de edifício, o seu número de ocupantes, a quantidade de equipamentos elétricos, entre outros. Essa complexidade de mensuração leva à adoção de dados estatísticos no momento do cálculo desses ganhos internos. Portanto, em regra, trata-se de um valor estimado.

A inércia térmica é outro fator que condiciona o fluxo térmico dos edifícios. Refere-se à capacidade de um elemento construtivo de armazenar calor e apenas liberá-lo ao fim de determinado tempo. Em outras palavras, é a capacidade que os elementos de construção dispõem de amortecer e desfazar, por certo período, o fluxo de calor que os atravessa (Henriques, 2016). Esse fenómeno depende essencialmente da massa volúmica dos elementos de construção, do seu calor específico e da sua condutibilidade térmica. Assim, construções leves – caso de pré-fabricados em madeira – possuem uma inércia térmica muito reduzida, isto é, as transferências de calor são praticamente instantâneas; enquanto que construções pesadas – caso de catedrais medievais construídas em pedra – possuem inércia térmica elevadas, ou seja, as transferências de calor podem levar semanas.

2.4 Conforto térmico em edifícios

O estado de bem-estar fisiológico humano depende da temperatura do ar ambiente, da humidade relativa, da velocidade do ar e do tipo de atividade praticada em determinado momento (Rodrigues e Eusébio, 2009). O quadro 2.1 demonstra alguns dos vários parâmetros que definem as sensações de conforto do corpo humano.

Quadro 2.1 – Parâmetros que influenciam a sensação de conforto

Parâmetros ambientais	Parâmetros individuais	Parâmetros subjetivos
Temperatura do ar	Idade	
Humidade Relativa	Sexo	Atividade desenvolvida
Temperatura média radiante	Especificidades morfológicas	Vestuário
Velocidade do ar	Área da superfície corporal	

Por isso, o ambiente interno dos edifícios deve proporcionar aos seus ocupantes, que estejam com vestuário apropriado, realizar suas atividades sem qualquer desagrado em razão de trocas

excessivas de calor com o ambiente ou de desigualdades térmicas exageradas entre as diversas partes do seu corpo (Rodrigues e Eusébio, 2009). Segundo as regras de qualidade térmica para os edifícios³, a temperatura interior deve acompanhar a variação sazonal da temperatura exterior e estar compreendida entre os 18°C e 26 °C. A humidade relativa do ar, por sua vez, deve variar entre os 35% e 65%. Ademais, o ideal é que a temperatura do pavimento não exceda a temperatura do ar mais do que 6°C e que os valores relativos à velocidade do ar sejam inferiores a 0,2 m/s (Piedade, Rodrigues e Roriz, 2000).

Nesse contexto, o conjunto de trocas térmicas e de humidade do ar que influenciam o comportamento das construções frente às condições de comodidade humana consubstancia o conforto higro-térmico de um edifício. Essas relações são dependentes do tipo de edificação, de sua morfologia, do clima geográfico, do local de sua implantação, da sua disposição no espaço, das condições circundantes, dentre outras. No particular, ante o objeto e o escopo previamente delimitados⁴, o presente estudo está direcionado apenas para a perspectiva térmica.

Destarte, não há como definir o conforto térmico dos edifícios sem o relacionar com as sensações humanas. Assim, considera-se que um indivíduo está em condições de conforto térmico quando ele experimenta bem-estar em neutralidade térmica (Rodrigues e Eusébio, 2009), ou seja, não apresenta qualquer desconforto ou irritação proveniente da condição de temperatura a que está submetido (Piedade, Rodrigues e Roriz, 2000).

2.5 Balanço térmico em edifícios

O alcance do conforto térmico nos edifícios exige o trabalho com o outro conceito: balanço térmico que, por sua vez, pode ser definido como a equação que exprime o equilíbrio entre os ganhos e as perdas energéticas entre os ambientes interior e exterior dos edifícios.

O cálculo do balanço energético possui raízes nas ciências da termodinâmica, primordialmente no estado de equilíbrio de energia, o qual afirma: para determinado volume e tempo, a quantidade de energia que nele entra menos a quantidade de energia que dele sai é igual à quantidade de energia nele armazenada (Silva, 2017).

Ora, de modo simplificado, se se considerar o volume do edifício, os ganhos de calor devido à ação do sol e à ocupação interna, as perdas e os ganhos por infiltração e por condução através das envolventes, a energia fornecida para arrefecimento/aquecimento e outros fatores condicionantes, como a inércia térmica da construção, a equação de balanço térmico para a edificação encontra-se formulada (Silva, 2017).

A diferença térmica existente entre as partes interna e externa do edifício, determina o seu fluxo de calor. No inverno, esse movimento ocorre do interior para o exterior, configurando perda térmica. Já no verão, o sentido do fluxo tende à inversão, caracterizando ganho térmico. Nesse prisma, as perdas térmicas configuram o principal motivo de queda da temperatura interior de um edifício, no período de

³ Documento produzido no quadro de atividades do Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes (CSOPT).

⁴ Cfr. item 1.2.

inverno. Enquanto os ganhos térmicos do verão aumentam a carga térmica do edifício e, por consequência, a sua temperatura interna (Gonçalves e Graça, 2004).

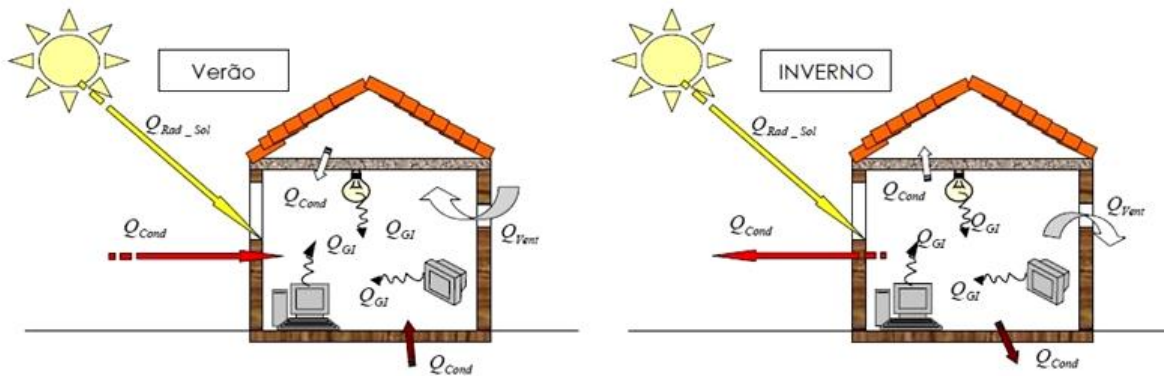


Figura 2.3 – Balanço energético (Silva, 2006)

Na figura 2.3 tem-se representações das trocas energéticas no interior de uma edificação em cada estação do ano. Esse esquema pode ser quantificado por meio das seguintes expressões⁵:

$$Q_{Nec_Arref} = Q_{cond} + Q_{Vent} + Q_{GI} + Q_{Rad_Sol} \quad (11)$$

$$Q_{Nec_Aquec} = Q_{cond} + Q_{Vent} - Q_{GI} - Q_{Rad_Sol} \quad (12)$$

Em que

Q_{Nec_Arref} – é a necessidade energética de arrefecimento [W];

Q_{Nec_Aquec} – é a necessidade energética de aquecimento [W];

Q_{cond} – é a energia devido à condução pela envolvente [W];

Q_{Vent} – é a energia devido à ventilação [W];

Q_{GI} – é a energia devido aos ganhos internos [W];

Q_{Rad_Sol} – é a energia devido à radiação solar [W].

Das fórmulas 11 e 12, verifica-se que os ganhos internos e os ganhos solares possuem sinais contrários a depender da estação. No Inverno, eles são insuficientes e, no verão, são excessivos. Os sistemas de climatização surgem, portanto, para garantir a temperatura de conforto para os utilizadores, quando os valores encontrados no balanço energético não forem satisfatórios.

2.6 Influência das argamassas de revestimento no conforto térmico dos edifícios

As argamassas de revestimento de alvenarias, pavimentos ou coberturas constituem a primeira linha de defesa de um edifício frente ao ambiente exterior. Por esse motivo, apresentam importantes funções, dentre as quais destacam-se:

⁵ Cfr. Niza (2016).

- Proteger os elementos construtivos da ação direta dos agentes agressivos;
- Regularizar os elementos de construtivos para recebimento do acabamento final;
- Auxiliar nas vedações à água e no isolamento termo acústico;
- Contribuir para a estética da fachada.

Essas argamassas costumam ser produzidas de maneira tradicional, doseadas e manuseadas em obra por meio de betoneiras e aplicadas em 3 camadas; ou de forma industrializada, ensacadas ou estabilizadas e, normalmente, aplicadas em monocamada. Em ambos os meios de produção, as argamassas de revestimento são aplicadas diretamente sobre o suporte.

2.6.1 Composição das argamassas

Em regra, as argamassas são compostas por ligantes, agregados, água e aditivos, que possuem diferentes papéis no seu funcionamento. A seleção de cada constituinte deve ser feita com base no tipo de edifício, na sua época de construção, no clima e condições ambientais da região em que será utilizada (Frutuoso, 2014).

O ligante é um componente com bastante influência nas características das argamassas, porquanto tem a função de preencher os vazios existentes entre os agregados, proporcionando-lhes coesão e formando uma pasta que ganha resistência mecânica em virtude das reações de hidratação ou carbonatação. As argamassas podem ter sua base em ligantes minerais (cimento, cal, gesso) ou sintéticos (copolímeros em dispersão aquosa), sendo recorrente o uso de combinações (ligantes mistos, argamassas bastardas) para satisfazer a necessidade de alguma característica específica.

Os ligantes minerais dividem-se em dois tipos: aéreos e hidráulicos. Nos dois casos, apresentam natureza inorgânica e possuem calcário e argila em suas composições, mas em quantidades distintas. A diferença básica é que os ligantes aéreos não ganham presa em contato com a água, ao contrário dos ligantes hidráulicos.

Dentre os ligantes aéreos, a cal merece destaque, sendo bastante utilizada principalmente em obras de conservação e reabilitação de edifícios, devido a sua compatibilidade estética e funcional (Veiga, 2003). Segundo a norma portuguesa⁶, a cal aérea pode ser classificada em cálcica (CL) e dolomítica (DL). A primeira possui apenas óxido ou hidróxido de cálcio na sua composição e a segunda possui, além do cálcio, óxido ou hidróxido de magnésio.

Em qualquer caso, a cal aérea endurece lentamente em contato com o ar, graças à reação com o dióxido de carbono da atmosfera – processo designado carbonatação. Assim, para a cal aérea, a água contribui para o transporte desse gás até as camadas mais profundas da argamassa durante o processo de amassadura da argamassa.

Já o cimento é o ligante hidráulico mais utilizado na construção civil, pois proporciona maior resistência mecânica, maior aderência e presa mais rápida que os outros ligantes hidráulicos (Leal,

⁶ Cfr. NP EN 459-1 (2015).

2012). A norma portuguesa⁷ classifica 27 tipos de cimentos correntes e os seus requisitos mecânicos, físicos e químicos, além de classes de resistência e durabilidade.

Dentre esses vários tipos de cimento, o Portland é o de maior evidência, porquanto apresenta 70% a 80% de calcário em sua constituição e é obtido por meio de um processo de clinquerização. É um ligante que endurece mediante um processo de hidratação, que necessita de menor quantidade de água em relação aos outros cimentos e é mais rápido que o processo de carbonatação típico da cal aérea. Em consequência, proporciona uma argamassa com menor retração e maior resistência mecânica.⁸

Além do cimento Portland, outros tipos de cimento merecem destaque, designadamente o cimento branco e o pozolânico. Nos cimentos brancos, ocorre a substituição do óxido de ferro por um caulino mais “puro” em calcário, cuja cor contribui para a brancura desejada; enquanto que, nos cimentos pozolânicos, ocorre a substituição de uma parte do clínquer por pozolana (Faria, 2004).

No que concerne aos agregados, cuida-se dos componentes em maior quantidade nas argamassas e, por isso, têm grande influência nas características da mesma. Graças aos agregados, as argamassas ganham coesão, por meio da união dos seus grãos ao ligante, de modo a conferir maior resistência e estabilidade dimensional ao composto (Margalha, 2011).

Os agregados podem ser classificados segundo sua origem, dimensão e massa volúmica, conforme o quadro 2.2:

Quadro 2.2 – Classificação dos agregados (adaptado de Melo, 2014)

Origem	Dimensão	Massa Volúmica
Naturais	Fino	Leves
Industrializados	Médio	Normais
Reciclados	Grosso	Pesados

As características dos agregados influenciam diretamente nas propriedades das argamassas. Sob esse prisma, os fatores de maior relevância são a origem/mineralogia e a forma/dimensão/granulometria. A origem influencia nas características mecânicas e químicas das argamassas, enquanto que a forma tem grande influência na resistência mecânica e na compacidade. Ou seja, quanto mais angulares os agregados, maior a resistência mecânica de suas argamassas, uma vez que partículas angulares preenchem melhor os espaços vazios. Ao contrário, quanto mais arredondados, maiores os poros (Rato, 2006).

As areias são os agregados mais utilizados nas argamassas⁹. Geralmente, têm sua origem na alteração natural das rochas, sendo extraídas, em regra, de jazidas ou de leito dos rios. As mais comuns são de origem silicosa, mas também podem ser de origem calcária, granítica ou basáltica. Quanto a sua dimensão, para fins de produção de argamassas, são úteis apenas quando apresentam dimensão máxima inferior a 4,75 mm. No que tange à granulometria, quanto mais diversificada, menor a sua porosidade e maior a sua resistência mecânica (Costa, 2008).

Quanto à componente água, ela possui um papel fundamental nas reações de hidratação e aglutinação do ligante aos agregados. Introduzida durante o processo de amassadura da argamassa,

⁷ Cfr. NP EN 197-1 (2012).

⁸ Por outro lado, as argamassas à base de cal aérea, quando comparadas as de cimento ou de cal hidráulica, são mais permeáveis, mais deformáveis e têm menor teor de sais (Margalha, 2011).

⁹ As areias são catalogadas na norma portuguesa pela NP EN 12620 (2003).

influi na sua trabalhabilidade, aderência ao suporte, retração e no processo de secagem. Já no estado endurecido, a quantidade de água influencia em aspectos como porosidade, absorção, resistência mecânica, condutibilidade e durabilidade das argamassas (Melo, 2014; Dias, 2013). Simplificando: a introdução de água proporciona maior trabalhabilidade, porém aumenta a porosidade da argamassa durante o processo de evaporação, diminuindo a absorção de água, a resistência mecânica e a condutibilidade térmica das argamassas.

Por fim, os adjuvantes/aditivos são produtos que, quando adicionados às argamassas, proporcionam algum tipo de melhoramento em suas propriedades físicas, mecânicas ou químicas (Costa, 2008). São produtos de origem orgânica ou mineral, adicionados em quantidades controladas, que podem atuar nas argamassas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Os quadros 2.3 e 2.4 especificam os adjuvantes/aditivos mais correntes.

Quadro 2.3 – Adjuvantes correntes (adaptado de Silva, 2017)

Adjuvantes	Propriedade
Plastificantes	Aumentam a trabalhabilidade da argamassa, diminuindo a quantidade de água de amassadura.
Superplastificantes	Aumentam a trabalhabilidade da argamassa, mas permitem maiores reduções de água.
Retentores de água	Melhoram a hidratação da argamassa, provocando maior retenção de água.
Promotores de aderência	Melhoram a aderência da argamassa, sem aumentar o teor de ligante, provocando a diminuição da retração.
Hidrófugos de massa	Diminuem a capilaridade, impedindo a penetração e circulação de água.
Introdutores de ar	Introduzem bolhas de ar que permitem diminuir a capilaridade, resistir ao gelo-degelo e aos sais.
Fungicidas	Impedem a criação de micro-organismos nas argamassas.

Quadro 2.4 – Adições correntes

Adições	Pozolanas naturais	Pozolanas artificiais				
Tipos	Lavas vulcânicas meteorizadas	Cinzas volantes	Metacaulino	Pó de tijolo	Cinzas de casca de arroz	Pó de vidro

2.6.2 Influência das argamassas no desempenho funcional, ambiental e térmico

Os revestimentos exteriores à base de argamassas, designados por rebocos exteriores, são os revestimentos mais comuns de serem utilizados nas fachadas das construções. Portanto, possuem exigências funcionais rigorosas a nível físico, térmico e acústico. Dentre essas exigências destacam-se a trabalhabilidade, a resistência à fendilhação, a capacidade de impermeabilização em zona não fendilhada, a permeabilidade ao vapor de água, a aderência ao suporte, a resistência aos choques, a compatibilidade com o suporte, o aspecto estético e a durabilidade (Veiga, 1998).

Além dessas exigências funcionais, outro aspecto relevante e bastante em voga atualmente diz respeito ao impacto ambiental, isto é, a utilização de recursos naturais por essas argamassas. Nesse contexto, a indústria da construção é um dos setores mais prejudiciais, uma vez que é responsável pelo consumo de 50% dos recursos naturais, pela produção de mais de 50% dos resíduos, pelo consumo de 40% de energia e pela produção de 35% das emissões de gases com efeito estufa e CO₂ (IEA, 2018b).

As argamassas são um dos recursos mais utilizados na indústria da construção, tanto em edifícios novos quanto em reabilitações. Por isso, diversos estudos estão sendo realizados em argamassas de modo a tornar esse recurso mais sustentável, promovendo uso de novos componentes e, sobretudo, de resíduos (Fontes, Faria e Silva, 2012).

A quantidade de argamassa envolvida numa edificação é da ordem dos 435 kg/m² de área útil de pavimento, dos quais os rebocos exteriores representam a parcela mais significativa. A propósito, confira-se a figura 2.4:

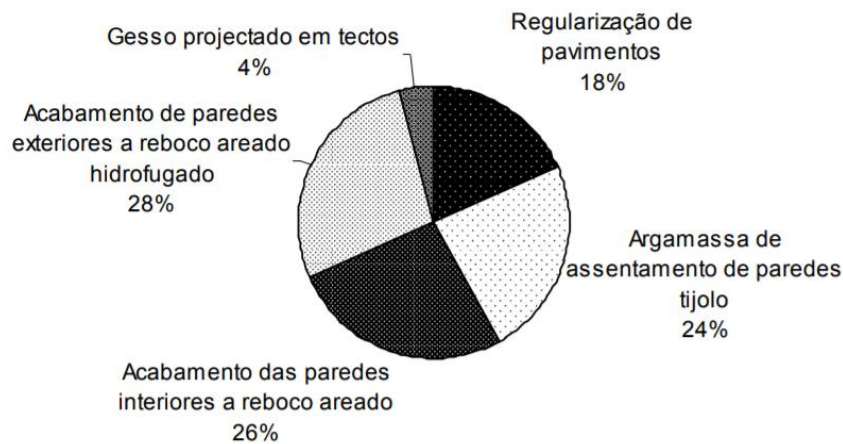


Figura 2.4 – Distribuição dos diferentes tipos de argamassas nas edificações (Mendonça, 2005)

Os conceitos de “construção sustentável” e “economia circular” têm sido amplamente discutidos por vários autores e dizem respeito, de um modo geral, à minimização dos custos de energia na construção e manutenção dos edifícios, à diminuição dos consumos energéticos de arrefecimento e aquecimento e à reutilização/reciclagem/reuso dos resíduos industriais ou das próprias construções. O fluxograma ilustrado na figura 2.5 engloba o universo das argamassas nesses preceitos.

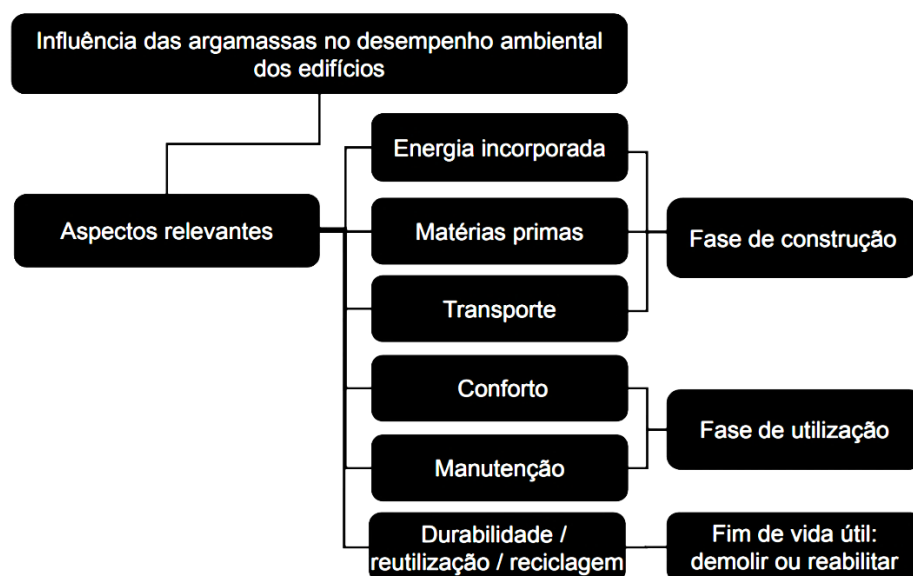


Figura 2.5 – Aspectos relevantes das argamassas no desempenho ambiental (Mendonça, 2005)

O setor industrial e o setor de construção civil são responsáveis pela produção e despejo de grandes quantidades de resíduos que não têm um uso específico em aterros. Assim, existe uma grande necessidade em dar utilidade a esses resíduos, de forma a serem reciclados e diminuir o seu impacto ambiental (Gadea et al., 2010). Uma das formas de reciclar esses resíduos é utilizá-los em argamassas, de maneira a substituírem total ou parcialmente os agregados; apenas parcialmente os ligantes; ou, até mesmo, uma adição, no caso de resíduos de material pozolânico.

Essas adições alteram as propriedades físicas, químicas e mecânicas das argamassas (figura 2.6), conferindo-lhes tanto melhorias quanto agravamentos, sendo necessário controle no seu uso a fim de obter a qualidade final da argamassa pretendida (Leal, 2012).

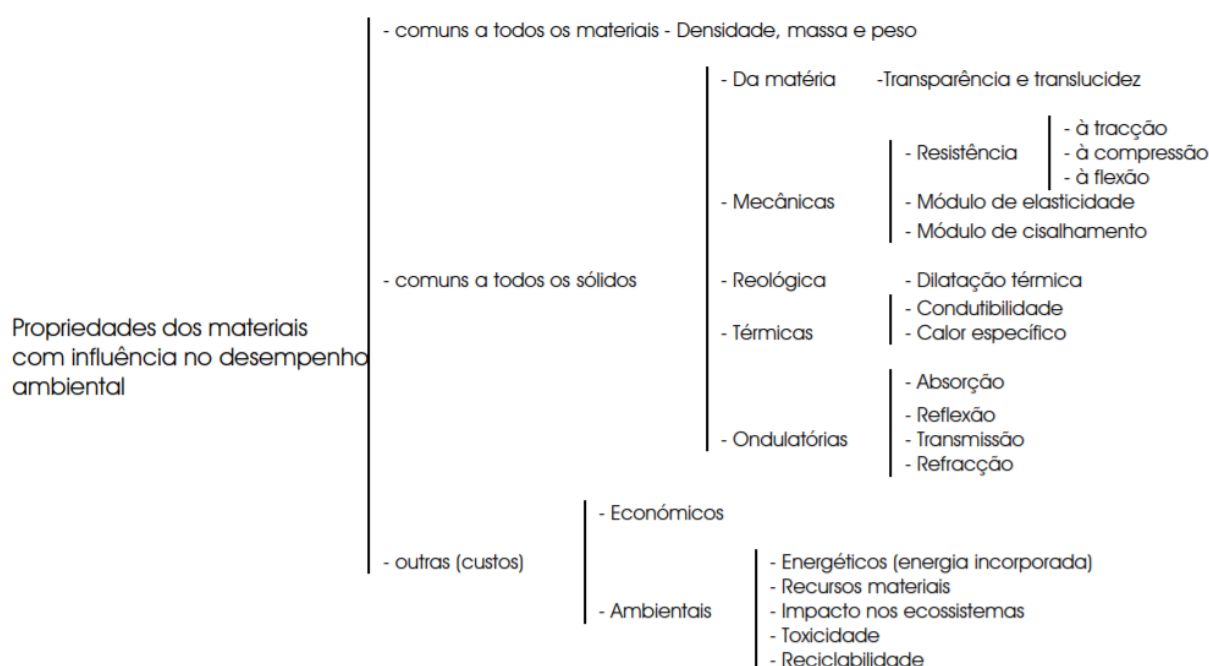


Figura 2.6 – Propriedades que influenciam o desempenho ambiental (Mendonça, 2005)

No particular, as alterações de maior relevância para o presente estudo referem-se à implementação de resíduos que possam diminuir a condutibilidade térmica das argamassas, de modo a diminuir as perdas e consumos energéticos, tornando o edifício mais eficiente sob os prismas ambiental e térmico.

Da figura 2.6, tem-se que a dilatação térmica, a condutibilidade e o calor específico são algumas das propriedades que influenciam o desempenho ambiental dos materiais. No caso específico das argamassas de revestimento exterior, quanto maior for sua espessura e menor sua condutibilidade térmica, maior será sua contribuição para um melhor desempenho térmico do edifício.¹⁰

¹⁰ Cfr. item 2.3.1.

2.6.3 Incorporação de resíduos de madeira

Alguns resíduos com boas propriedades térmicas já são utilizados na construção civil, como é o caso do EPS e da cortiça, bastante utilizados como isolantes térmicos em coberturas, paredes simples ou duplas, pavimentos e fundações de obras (Augusto, Bragança e Almeida, 2015). Nos últimos anos, surgiram estudos com a incorporação de resíduos de madeira, em substituição à areia nas argamassas de reboco exterior, permitindo uma redução da massa volúmica e, por conseguinte, da sua condutibilidade térmica (Corinaldesi, Mazzoli e Siddique, 2016).

Os restos de madeira de serrações são um tipo de resíduo produzido em larga escala e passíveis de reutilização para a produção de *pellets* de madeira – verdadeiro combustível orgânico, de forma cilíndrica, produzido a partir de biomassa densificada (Pinewells, 2019). Aliás, essa biomassa é a mais promissora fonte de energia renovável da atualidade, sendo a única que pode ser transportada e armazenada (Ericsson, 2007; Huang et al., 2011; Kalembkiewicz e Chmielarz, 2012).

Martinho (2017) e Silva (2017) estudaram a incorporação de resíduos de madeira provenientes de *pellets* em substituição ao agregado de argamassas de cimento e cal hidráulica, respectivamente. Nesses estudos, comprovaram que a incorporação desse resíduo nas argamassas influencia nas suas propriedades e características, quer no estado no estado fresco, quer no estado endurecido. Em seus trabalhos, constataram que, à medida que a percentagem de *pellets* era aumentada, as argamassas ficam mais leves e com valores de condutibilidade térmica menores, devido, principalmente, à diminuição da massa volúmica e ao aumento da porosidade aberta.

Especificamente quanto à porosidade, vale aqui ressaltar que certos materiais de construção nomeados como porosos, tais como as argamassas, são assim designados por apresentarem pequenos vazios, que, em regra, são preenchidos por um fluido, que pode ser ar, água ou mesmo vapor de água. Esses pequenos vazios podem estar conectados em uma rede contínua de poros, dando origem à conhecida porosidade aberta¹¹; ou podem afigurar-se de maneira isolada e dispersa pelo material, de modo a não pertencer a um grupo de poros ligados entre si; nesse caso, configuram a porosidade fechada (Gil, 2013).

2.7 Influência das pinturas no conforto térmico dos edifícios

Os sistemas de pintura são uma das formas mais comuns de acabamento das argamassas de revestimento de um edifício. A sua qualidade e durabilidade condicionam tanto o aspecto decorativo quanto o funcional, na medida da proteção do seu substrato. O entendimento de um sistema de pintura demanda a caracterização tanto desse substrato – suporte de aplicação da tinta, quanto dos materiais utilizados no seu fabrico.

No setor da construção, os sistemas de pintura costumam ser aplicados sobre madeiras, alvenarias, metais, plásticos, betões e argamassas, por meio de vários métodos de aplicação: a pincel,

¹¹ A porosidade aberta permite o transporte de fluidos através de sua rede interna de vazios interligados (Gil, 2013).

a trincha, a rolo, por imersão, por eletrodeposição, por centrifugação ou por pistolas. A qualidade final da pintura depende igualmente do tipo e estado do substrato, e do seu método de aplicação.

Quanto aos materiais para a realização da pintura, três produtos ganham destaque: tintas, vernizes e velaturas. Um verniz distingue-se de uma tinta geralmente pelo fato de não ser pigmentado, enquanto que as velaturas se distinguem das duas por não formarem película (Marques e Rodrigues, 2000). O foco deste trabalho é nas tintas e vernizes.

2.7.1 Composição dos sistemas de pintura

Define-se um sistema de pintura como um conjunto das tintas aplicadas segundo um esquema pré-determinado, com a finalidade de assegurar a proteção do suporte e/ou conferir-lhe alguma propriedade. O conjunto das tintas, a fixação de uma determinada espessura e/ou o número de demãos elucidam o esquema de pintura (Marques e Rodrigues, 2000).

Normalmente, os sistemas de pintura são compostos por tintas e primários. Estes são aplicados antes daqueles, porquanto têm como função garantir a boa aderência da tinta ao substrato, e uma uniformização absorptiva. Vale, ainda, destacar, que as tintas possuem mais pigmentos que os primários.

As tintas são um produto pigmentado – líquido, em pasta ou em pó, que forma uma película opaca, dotada de propriedades protetoras, decorativas ou específicas quando aplicadas em um substrato¹². Sua composição genérica é composta por três grandes famílias de constituintes (figura 2.7):

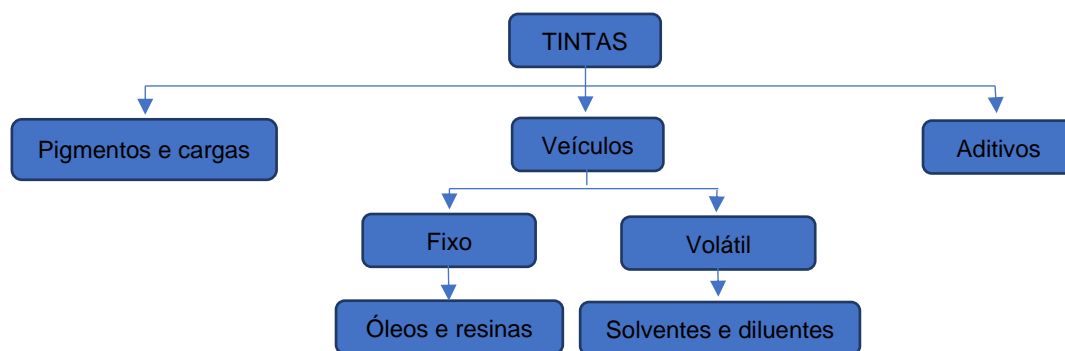


Figura 2.7 – Componentes das tintas

Os componentes de uma tinta interagem entre si, influenciando no comportamento da tinta de maneiras diferentes. A seguir, detalha-se melhor cada constituinte:

- **Veículo:** parte líquida da tinta; local onde são diluídos os outros componentes; divide-se em fixo e volátil;
- **Pigmento:** substância sólida que confere a cor, a opacidade ou certas características especiais à tinta; praticamente insolúvel no veículo;

¹² Cfr. NP EN 971-1 (1997).

- **Carga:** substância inorgânica, também insolúvel no veículo, que confere determinadas propriedades físicas ou mecânicas às tintas, tais como controle do brilho e da dureza, resistência a ranhuras, permeabilidade ou aderência.
- **Resina:** é um tipo de veículo fixo; composto natural, artificial ou sintético, responsável pela formação da película sólida da tinta, bem como pela maioria das propriedades da tinta, inclusive a de aderência ao substrato.
- **Óleo:** é um tipo de veículo fixo; composto de origem animal ou vegetal, responsável pela formação de uma película contínua, aderente e elástica, quando aplicada em fina camada sobre a superfície.
- **Solvente:** é um tipo de veículo volátil; líquido – geralmente água – responsável por dissolver o veículo fixo, de modo a facilitar a produção e a aplicação da tinta, mantendo sua homogeneidade.
- **Diluyente:** é um tipo de veículo volátil; líquido responsável por reduzir a viscosidade da tinta até o nível adequado para sua aplicação.
- **Aditivo:** substância adicionada em pequena quantidade para melhorar algumas características das tintas, tais como o tempo de secagem, a proteção anti-fúngica e/ou antiespuma, dentre outras.

Vale destacar que os vernizes diferem-se das tintas apenas por não apresentarem pigmento em sua composição. Após a secagem, sua película sólida apresenta-se transparente ou translúcida. Por isso, costumam ser utilizados quando o intuito é manter a cor original do substrato.

2.7.2 Classificação das tintas/vernizes

A proporção ou escolha entre cada um dos constituintes da tinta ou do verniz depende da finalidade a que se destina e do custo associado. Nessa perspectiva, classificam-se de acordo com os seguintes critérios:

- **Quanto à natureza do veículo volátil:** de base aquosa¹³ e de base não-aquosa – onde incluem-se as tintas ou vernizes sem solventes;
- **Quanto à natureza do veículo fixo utilizado na sua fabricação:** de resina acrílica, epoxídica, vinílicas, a óleo etc.;
- **Quanto à sua finalidade:** para fachadas¹⁴, para metais, para madeiras, de acabamento interior/exterior, para betões etc.

¹³ As tintas aquosas representam 80% das tintas utilizadas na construção civil (Gil, 2013).

¹⁴ As tintas de fachada são produzidas a partir de tecnologias diferentes, sendo as mais utilizadas para aplicações no exterior as tintas lisas, tintas texturadas (ou areadas), tintas flexíveis (ou elastoméricas), tintas à base de Hydro Pliolite (um ligante produzido a partir de tecnologia EBS, constituído por copolímeros acrílicos), tintas de silicone e tintas de silicato (Gil, 2013).

- **Quanto ao acabamento obtido:** tipo esmalte (acabamento tipo brilhante e liso), plástica (com ligantes sintéticos e acabamento liso), texturizada (acabamento tipo rugoso) etc.

2.7.3 Propriedades dos sistemas de pintura

No universo da construção civil, uma pintura deve, essencialmente, ser eficiente na proteção do substrato e no aspecto decorativo. Contudo há outros requisitos relevantes para um sistema de pintura. A facilidade na aplicação, o tempo de secagem, a baixa toxicidade e a boa resistência à lavagem devem ser ressaltados. Além disso, tratando-se de um sistema de pintura exterior, a boa resistência às intempéries e aos fungos, a neutralidade química e a suficiente aderência à base ganham mais relevo (Marques e Rodrigues, 2000).

Nesse contexto, a opacidade, isto é, o poder de cobertura da tinta, torna-se uma das propriedades mais importantes. Mensurada pela área coberta por unidade de massa de tinta, é responsável por características como: o acabamento – avaliação visual oferecida pela tinta; o brilho; a uniformidade; a limpeza; e a cor (Eusébio, 1985).

Por outro lado, é a partir da formação do filme – ou película – que se manifestam muitas das propriedades dos revestimentos. Nas tintas aquosas, as partículas poliméricas ficam dispersas no meio aquoso, rodeadas por uma fina camada de agente emulsionante, evitando sua floculação. Com a evaporação da água, há uma coalescência progressiva dessas partículas, favorecendo a formação da película sólida e homogênea. Trata-se, pois, de um fenômeno eminentemente físico, ou seja, que não envolve alterações de natureza química conforme ilustrado na figura 2.8 (Marques e Rodrigues, 2000).

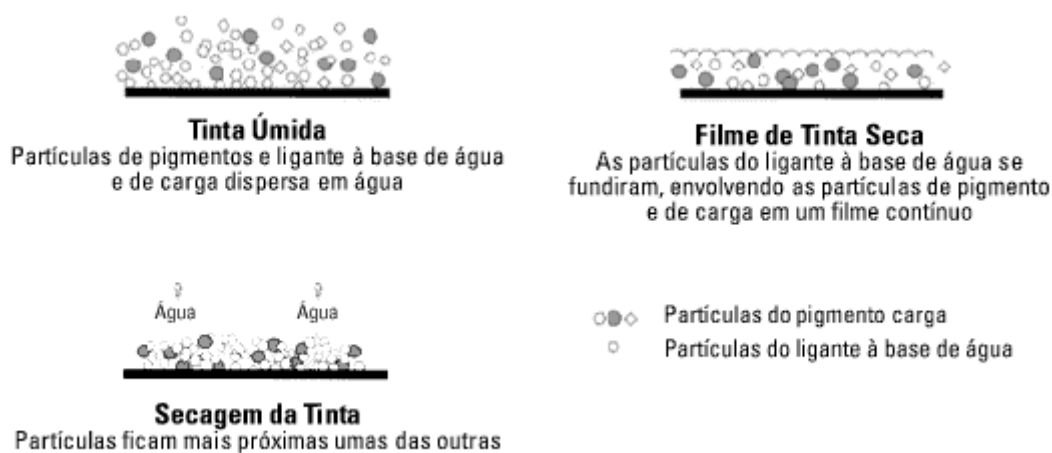


Figura 2.8 – Processo de coalescência nas tintas aquosas (Matos, 2008)

O fato de o ligante estar suspenso em água permite que, no processo de evaporação, sejam criadas e conservadas aberturas microscópicas de ar que cedem passagem aos vapores de umidade. Assim, as tintas aquosas suportam melhor à presença da umidade. Apesar disso, a proteção por eles conferida é elevada, assim como suas propriedades de secagem e resistência à água (Gil, 2013).

Após a secagem, as propriedades dos revestimentos de pintura são influenciadas pela “Concentração Volumétrica dos Pigmentos e Cargas” (CVP). Quando sua concentração é baixa, propriedades como o brilho e a tendência para enrugamento são altas. Assim, à medida que sua concentração aumenta, essas propriedades diminuem. Por outro lado, a permeabilidade aumenta. Destarte, o ideal é encontrar o ponto crítico de CVP, situação em que a concentração de ligante é o necessário para preencher os interstícios entre os pigmentos e cargas, proporcionando o brilho, a rugosidade e a permeabilidade almejados para cada caso (Marques e Rodrigues, 2000).

Outras características importantes a serem consideradas nos sistemas de pintura com base aquosa, são a resistência iônica, a proteção por barreira da interface superfície/revestimento e a capacidade de aderência ao substrato, que permitem uma pintura de elevada qualidade e durabilidade.

2.7.4 Influência das pinturas no desempenho funcional, ambiental e térmico nos edifícios

Conforme explanado, a aplicação de um sistema de pintura vai além das finalidades de proteção de revestimentos e decoração de ambientes. Atualmente, a utilização desses produtos visa, também, ao melhoramento da iluminação de recintos, da segurança e resistência a microorganismos, das condições ambientais, dentre várias outras possíveis finalidades de uma tinta. Nessa seara, em geral, pretende-se que seu desempenho tenha caráter multifuncional, ou seja, que, ao mesmo tempo, satisfaça várias finalidades (Marques e Rodrigues, 2000).

Os substratos da construção civil, na sua grande maioria, possuem natureza mineral e, portanto, apresentam características físicas e químicas muito diversas. Dessa forma, as características do tipo de substrato – como alcalinidade, porosidade ou necessidade de respiração, dentre várias outras, bem como os fatores ambientais as quais se submeterá são decisivos na escolha do tipo adequado de tinta (Rodrigues, Eusébio e Ribeiro, 2005).

Elementos construtivos como o betão, o tijolo ou as argamassas são considerados materiais porosos, e, como tal, possuem grandes quantidades de água, mesmo quando suas superfícies aparentam estar secas. Portanto, suas pinturas devem ser executadas à *posteriore*, a fim de prevenir superfícies com elevado teor de humidade (Rodrigues, Eusébio e Ribeiro, 2005).

Especificamente quanto aos revestimentos de pintura a serem aplicados sobre fachadas, é essencial que apresentem elasticidade suficiente para acompanhar e resistir às alterações volúmicas, ocorridas principalmente em razão de fatores como temperatura e humidade a que estão sujeitos. Uma tinta flexível deve manter suas propriedades mecânicas e elásticas, mesmo em grandes amplitudes de temperatura, para evitar problemas de fissurações; sem, contudo, aumentar a aderência de sujeiras, de modo a manter um aspecto de limpeza por mais tempo. Tal propriedade, ressalte-se, tem grande relevância sob o prisma da proteção, porquanto, ao evitar fissuras, diminui consideravelmente o risco da ação de agentes agressivos, principalmente de microorganismos (Marques e Rodrigues, 2000).

Sob a perspectiva ambiental e no que interessa ao presente estudo, a relevância das tintas está relacionada com os gastos com climatização – aquecimento e arrefecimento – dentro da edificação, uma

vez que sua presença nas envolturas exteriores e interiores influencia diretamente nas trocas térmicas do edifício. Nas envolturas externas, o aumento de temperatura deve-se sobretudo à absorção da radiação solar. Dessa maneira, as características dos materiais que compõem as superfícies dessas envolturas determinam o modo como essa energia é absorvida, refletida ou transmitida¹⁵.

A seguir, são elencadas algumas características das superfícies que influenciam nas circunstâncias de absorção de energia.

- **Condições de exposição:** Os aspectos climáticos provocam alterações nas condições meteorológicas do ambiente exterior e, conseqüentemente, incitam variações na incidência solar sobre as superfícies de um edifício. Fatores como a intensidade da incidência solar, a ocorrência de precipitação, a variação da humidade relativa e a velocidade do vento influenciam direta ou indiretamente a capacidade de uma superfície absorver energia (Rodrigues e Eusébio, 2009).
- **Cor da superfície:** A cor é definida como uma sensação resultante da percepção visual da radiação refletida de uma dada composição espectral¹⁶. Assim, a cor da superfície contribui de forma decisiva para uma maior ou menor absorção solar. Uma superfície escura absorve grande parte da radiação solar incidente, enquanto que uma superfície clara tem uma baixa absorção, refletindo a maior parte da radiação solar que incide sobre si (figura 2.9). Entretanto, a pintura branca apresenta maior reflexão na região do visível e maior absorção na região do infravermelho, enquanto que a absorção da pintura preta é elevada e constante independente do comprimentos de onda (Henriques, 2016).

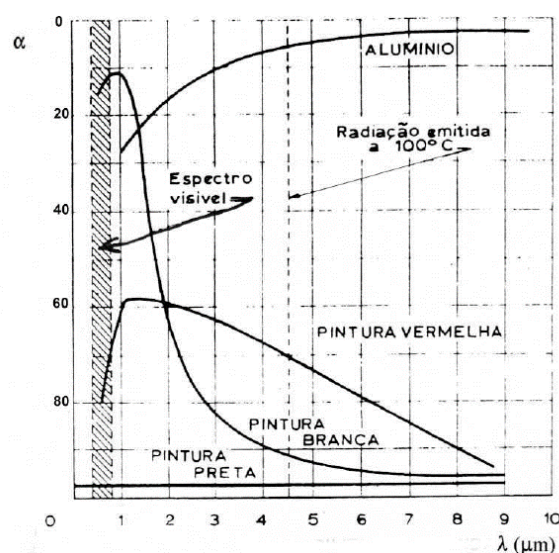


Figura 2.9 – Coeficientes de absorção x composição espectral (Henriques, 2016)

- **Rugosidade:** Define-se pelas irregularidades geométricas que uma superfície apresenta. Quando o acabamento da superfície é rugoso, sua reflexão é mais difusa, o que acarreta um maior índice de absorção. Um acabamento liso proporciona, em regra, uma reflexão especular

¹⁵ Cfr. item 2.2.3.

¹⁶ Cfr. NP EN 971-1 (1997).

e consequentemente um índice de absorção menor¹⁷. Assim, na escolha do tipo de tinta a revestir o exterior de um edifício, a sua textura deve ser considerada, pois influencia a absorção de calor, e consequentemente, os ganhos energéticos (Seker, 1996).

- **Estado da superfície:** A exposição diária das superfícies aos vários agentes climáticos, aos poluentes, aos microrganismos e à radiação ultravioleta causa sua degradação, seu envelhecimento e, consequentemente, a alteração das propriedades absorptivas. Assim, em materiais escuros por exemplo, a sujeira e a oxidação tendem a reduzir a capacidade de absorção das superfícies ao longo do tempo. Por outro lado, materiais de cores claras tendem a diminuir a sua habilidade de reflexão à medida que a sujeira se acumula na sua superfície (Bretz e Akbari, 1997).
- **Térmica:** As temperaturas superficiais exteriores de um edifício sofrem influência da emissividade das superfícies. A diminuição da temperatura superficial resulta de uma emissividade menor de radiação. Quando a emissividade é elevada, ocorre um aumento da temperatura superficial (Berdahl e Bretz, 1997). Cabe ressaltar que a reflexão solar é o fator dominante para o desempenho térmico das superfícies durante o dia, enquanto que a emissividade é fator mais influente na temperatura superficial no período noturno (Santamouris, Synnefa e Karlessi, 2011).¹⁸

Sob a perspectiva do desempenho térmico, vale, inicialmente, relembrar que o conforto térmico de um edifício depende de vários parâmetros, como a composição da parede, a orientação do edifício, o posicionamento de vãos envidraçados e a ventilação¹⁹. Neste trabalho, o objeto de estudo é basicamente a influência da cor da tinta no comportamento térmico dos edifícios. Um estudo realizado por Cheng, Ng e Givoni (2005) em células experimentais de diferentes cores, demonstrou que a influência da cor depende da radiação solar: quanto mais escura a cor, maior a sensibilidade à radiação solar. Isso significa que uma superfície mais escura apresenta uma absorção mais elevada da radiação solar que sobre ela incide. O calor absorvido é transferido para a superfície interna da parede por condução, aquecendo posteriormente o ar interior por convecção.²⁰

A cor da cobertura pode reduzir significativamente as cargas de arrefecimento nos edifícios, principalmente nos casos de sistemas de cobertura sem isolamento térmico. Estudo publicado por Synnefa, Santamouris e Akbari (2007) afirma que a utilização de revestimentos mais reflexivos em coberturas de edifícios pode contribuir para a redução das cargas de arrefecimento em edifícios e para a melhoria das condições de conforto. Como exemplo, demonstrou que com um aumento da reflexão solar de 0,2 para 0,65 foi possível obter poupanças entre 10,7% e 27% na carga de arrefecimento (kWh/m²) em condições climáticas específicas.

Assim como nas coberturas, outros estudos publicados acerca da aplicação de tintas em fachadas também apresentaram melhorias no conforto térmico dos ocupantes de um edifício. Segundo Bretz, Akbari e Rosenfeld (1998), a envolvente vertical também exerce um papel importante no

¹⁷ Cfr. item 2.3.1.4.

¹⁸ Cfr. item 2.2.3.

¹⁹ Cfr. item 2.4.

²⁰ Cfr. item 2.2.

desempenho térmico de um edifício, uma vez que absorve a radiação solar a ângulos mais baixos quando orientadas a Sul e a Oeste, o que contribui significativamente para os ganhos térmicos no período de inverno.

A absorção de calor por radiação através da envolvente dos edifícios é, portanto, fenómeno que determina o comportamento térmico dos edifícios. Dessa forma, a utilização de diferentes tipo de tintas pode contribuir para a diminuição da temperatura superficial e reduzir os custos energéticos e financeiros associados ao uso do ar condicionado e sistemas de aquecimento em edifícios.

2.7.5 Pintura termo cromática

O avanço tecnológico possibilitou a criação de tintas cada vez mais complexas e hoje, os revestimentos por pintura não só protegem e embelezam os substratos, como também lhes conferem propriedades funcionais, sejam antiderrapantes, isoladoras, condutoras ou, em particular, termo cromáticas. São as chamadas tintas inteligentes.

Especialmente sobre as tintas termo cromáticas, elas já têm uma gama enorme de aplicações. São encontradas em canecas, camisas e até mesmo em revestimentos da industria automobilística. Outras aplicações correntes incluem publicidade ou embalagem de produtos, que informam ao consumidor quando a bebida está fria o suficiente para ser consumida. No âmbito da construção civil, essas tintas já começaram a ser estudadas, apesar de ainda não serem amplamente comercializadas.

Uma pintura termo cromática é ativada termicamente, ou seja, o calor é o responsável por uma mudança de cor. Essa alteração pode ser entre duas colorações ou de uma coloração para um estado incolor. Para tanto, há uma temperatura de ativação designada, a qual é o limiar tanto para a mudança quanto para o retorno a sua cor original (SFXC, 2019a).

A tinta termo cromática pode ser formulada a partir da adição de pigmentos termo cromáticos pretos a uma solução de base aquosa ou não-aquosa. Não se olvide que os pigmentos são utilizados nas tintas principalmente para dar cor e opacidade à película seca, mas também podem auxiliar em outras propriedades físicas ou químicas, como proteção ou absorção de radiação UV²¹.

No geral, o pigmento termo cromático é frequentemente usado em:

- Serigrafia, como mídia em papel, plástico e tecidos;
- Tintas acrílicas para uso em revestimentos;
- Tintas de impressão para cartões e papel;
- Equipamentos industriais de segurança contra o calor, como no fundo de painéis;
- Indicadores de termômetro, para testes de febre ou de temperatura da água do banho.

No caso dos pigmentos termo cromáticos utilizados neste estudo, trata-se de um pó fino, microencapsulado, resistente à água, que, mediante um aglutinante – verniz, muda da cor preta para a

²¹ Cfr. item 2.6.1.

incolor na temperatura de 31° C. Assim, quando aquecido, esse pigmento, respondendo ao calor, muda para o estado incolor e, a medida que é arrefecido, volta a sua cor inicial. (SFXC, 2019b)

Na construção civil, a pintura termo cromática pode representar uma solução passiva, económica e ecológica que contribui para a eficiência energética em edifícios. Neste sentido, o estudo de Kalessi et al. revelou que as temperaturas de revestimentos com pintura termo cromática foram menores que as encontradas em revestimentos com pintura comum ou reflexiva (2008). Além disso, mostrou que essas tintas são absorventes na fase colorida e reflexivas na fase descolorida. Assim, podem contribuir para a poupança energética em ambas as estações do ano – inverno e verão.

Outro estudo de Ye et al. demonstrou que um sistema aquoso de pintura termo cromática com base em polímeros atingiu uma taxa de reflexão máxima de 33%, diminuindo a temperatura da célula de teste em 6°C, quando comparada a de outra célula sem o mesmo sistema (2012). Já em 2014, Zheng et al. utilizou o software EnergyPlus para simular a poupança de energia provocada por revestimentos com pintura termo cromática em edifícios situados em diferentes regiões da China. Os resultados sugeriram que, nas regiões de clima que apresentam baixas temperatura durante o inverno e altas temperaturas durante o verão, os revestimentos com acabamento termo cromático geram uma poupança significativa de energia, quando comparado aos gastos energéticos de um edifício com revestimentos comuns (2014).

Para além das tintas, mais recentemente, Perez et al. confirmou a fabricação da primeira argamassa termo cromática inteligente (Smart Reversible Thermo-chromic Mortar – SRTM) para revestimentos de edifícios dinâmicos. Nesse estudo, comprova-se um decréscimo de 19% da absorção solar na fase de coloração mais clara da argamassa (2018).

3 Procedimento experimental

3.1 Considerações iniciais

A utilização de argamassas de revestimentos demandou a realização de procedimentos experimentais, no que tange a ligantes, agregados e sistemas de pintura, a fim de avaliar e caracterizar o comportamento das misturas.

Desse modo, neste capítulo estão descritas as etapas próprias à caracterização das argamassas e acabamentos. A primeira fase compreende a descrição dos materiais utilizados na sua produção e os modos de preparação. Na fase subsequente, são expostos os ensaios realizados para aferir as características físicas e mecânicas das argamassas, bem como para atestar e comparar o comportamento dos diferentes sistemas de pintura sobre os provetes fabricados a partir dessas argamassas.

Para os ensaios, foram produzidos três tipos de argamassas, sendo duas à base de cimento branco e uma à base de cal aérea. Com o intuito de conferir um desempenho térmico melhorado no comportamento das argamassas, foram utilizados 30% de resíduos de madeira, em substituição à areia, em uma das argamassas à base de cimento branco. Essa troca foi realizada em massa e em concordância com a granulometria da areia.

Para a caracterização dessas argamassas, primeiramente, foi necessário determinar as baridades das areias, dos resíduos de madeira, da argamassa para cimento branco e da cal aérea utilizadas. Esses dados serviram de base de cálculo para a quantificação dos componentes para cada amassadura. Em laboratório, o traço das argamassas, embora fosse determinado em volume, foi calculado em unidade de massa para cada material.

Aferidas as massas e realizadas as misturas, procedeu-se a caracterização física das diferentes argamassas. Para esse efeito, foi realizado ensaio de consistência por espalhamento da argamassa no estado fresco, isto é, logo após a mistura. Em seguida, as argamassas foram moldadas e armazenadas em ambientes condicionados, para posterior realização dos ensaios no estado endurecido: resistência mecânica, massa volúmica, condutibilidade térmica e porosidade aberta.

Caracterizada as argamassas, foram efetuados procedimentos para a especificação dos acabamentos sobre o reboco, quais sejam: avaliação de coesão e dureza superficial, bem como de erosão por desgaste, ensaio térmico na câmara condicionada e termografia.

3.2 Materiais utilizados na produção dos provetes

Como explicitado anteriormente²², as matérias-primas necessárias na fabricação de uma argamassa de revestimento são: os agregados, os ligantes, os adjuvantes/aditivos, a água, além do

²² Cfr. item 2.5.1.

revestimento escolhido. A seguir, estão detalhados cada um dos materiais utilizados neste trabalho para a produção das argamassas para reboco exterior e seu devido acabamento por pintura para fachadas.

As fichas técnicas de todos os materiais utilizados ao longo deste trabalho e descritos neste capítulo encontram-se no Anexo A.

3.2.1 Ligantes

Os ligantes utilizados na produção das argamassas foram: (I) cimento branco e (II) cal aérea. O cimento de reboco branco pronto utilizado, produzido pela empresa *A.M.C. Cunha LDA*, é especialmente destinado à aplicação em argamassas de revestimentos de paredes. Nas figuras 3.1 e 3.2, fotos do produto utilizado, classificado segundo a norma NP EN 998-1 (2010):



Figura 3.1 – Argamassa ensacada



Figura 3.2 – Argamassa - Produto

A Cal Aérea Lusical H100 é produzida pela empresa Lusical – Companhia Lusitana de Cal S.A. Classificada como CL, é constituída principalmente por hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), sem adições hidráulicas ou pozolânicas. É uma cal hidratada, produzida através da extinção controlada da cal viva e que é comercializada sob a forma de pó, o que proporciona ao reboco uma boa trabalhabilidade e permeabilidade ao ar.

Nas figuras 3.3 e 3.4, encontra-se representado o produto utilizado, classificado segundo a norma NP EN 459-2 (2011):



Figura 3.3 – Cal aérea ensacada



Figura 3.4 – Cal Aérea - Produto

3.2.2 Agregados

Na elaboração das diferentes misturas de argamassas, foram utilizados como agregados: (I) areia e (II) resíduos de madeira (provenientes de *pellets*).

A areia amarela para reboco da Areipor by White Minerals é uma areia lavada, isenta de materiais estranhos, constituída por quartzo, quartzito e feldspato. Seus agregados possuem uma forma subprismática a discoidal e apresentam uma superfície ligeiramente rugosa a lisa. Essa areia foi classificada segundo a norma NP EN 13139 (2002) e pode ser visualizada nas figuras 3.5 e 3.6:



Figura 3.5 – Areia amarela ensacada



Figura 3.6 – Areia - Produto

Os resíduos de madeira utilizados neste trabalho são provenientes de *pellets* de pinho produzido pela empresa Pinewells S.A. Apesar desse material possuir uma forma cilíndrica e ter pequenas dimensões (6-8 mm de diâmetro e 10-30mm de comprimento), é necessário proceder a sua moagem para ser utilizado como agregado na produção de argamassas.

Na figura 3.7 encontram-se retratados os resíduos de madeira utilizados neste trabalho, depois do processo de moagem, separados conforme sua granulometria.



Figura 3.7 – Resíduo de madeira ensacados

3.2.3 Aditivos

O superplastificante ViscoCrete®-225 da Sika® foi utilizado para melhorar a trabalhabilidade das argamassas fabricadas. Trata-se de um aditivo em pó branco, redutor de água, para uso tanto em betões quanto em argamassas. A figura 3.8 apresenta o material utilizado:



Figura 3.8 – Superplastificante ViscoCrete®-225

3.2.4 Água

A água utilizada na produção das argamassas foi diretamente adquirida da rede pública da faculdade FCT – NOVA. A quantidade de água empregue foi determinada tendo como base o ensaio de consistência por espalhamento das argamassas em conformidade com a trabalhabilidade necessária.

3.2.5 Tintas e Vernizes

Neste trabalho, três sistemas de pintura foram aplicados nos diferentes tipos de argamassas fabricados: (I) pintura branca, (II) pintura preta e (III) pintura preta termo cromática.

A tinta utilizada para o sistema de pintura branca (I) foi a Barbolite Hydro da Barbot. Trata-se de uma tinta aquosa branca, tipo mate, destinada para pinturas exteriores sobre argamassas (figura 3.9).

A tinta utilizada para o sistema de pintura preta (II) foi a Telhas Premium da Dyrup. Trata-se de uma tinta plástica preta, com base em resinas acrílicas, tipo mate, destinada a pinturas exteriores sobre diferentes tipos de suporte (figura 3.10).

O sistema de pintura termo cromática (III) foi produzida por meio de uma solução de verniz incolor com adição de pigmento termo cromático de coloração preta até 31°C (figura 3.11). O verniz incolor utilizado foi o do tipo mate ultra resistente da V33, o qual é uma solução de base não aquosa com grande facilidade de aplicação e excelente resistência a manchas e águas.



Figura 3.9 – Tinta branca mate



Figura 3.10 – Tinta preta mate



Figura 3.11 – Verniz incolor mate

3.2.6 Pigmento termo cromático

Para a realização da aludida pintura preta termo cromática, ao verniz supradescrito foram adicionadas microcápsulas em forma de pó, com propriedades termo cromáticas, fabricadas pela

empresa *Good Life Innovations Ltd.* Projetadas para serem utilizadas em sistemas de tinta não aquosas, essas microcápsulas apresentam cor preta quando submetidas a temperaturas abaixo de 31°C. Porém, a medida em que são aquecidas, tornam-se incolores. Essa mudança de cor é reversível, ou seja, a coloração preta é restaurada assim que o material volta a arrefecer.



Figura 3.12 – Pigmento termo cromático ensacado

Apresentados os materiais utilizados, foram determinadas experimentalmente algumas de suas propriedades.

3.3 Ensaios realizados nos materiais

A fabricação das argamassas foi precedida pela realização de dois ensaios, a fim de assegurar a preparação das amostras e provetes conforme previsto na seção 3.1. A seguir, estão descritos esses ensaios, os quais foram aplicados sobre os agregados e os ligantes utilizados neste trabalho.

Os resultados dos ensaios encontram-se no Apêndice A.

3.3.1 Análise granulométrica dos agregados

A distribuição granulométrica de um dado agregado pode ser obtida por meio da análise dimensional de suas partículas, pelo método da peneiração, conforme a norma NP EN 933-1 (2014). Este ensaio consiste na peneiração de uma quantidade de material através de um determinado conjunto de peneiros, cuja designação encontra-se na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Peneiros série ASTM

Designação do peneiro	Abertura da malha (mm)	Designação do peneiro	Abertura da malha (mm)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 1	Coluna 2
Nº 4	4.750	Nº 80	0.180
Nº 8	2.360	Nº 100	0.150
Nº 16	1.180	Nº 120	0.125
Nº 30	0.600	Nº 140	0.106
Nº 35	0.500	Nº 170	0.090
Nº 40	0.425	Nº 200	0.075
Nº 45	0.355	Nº 230	0.063
Nº 50	0.300	Nº 270	0.053
Nº 60	0.250	Nº 325	0.045
Nº 70	0.212	Nº 400	0.038

Neste trabalho, foram realizados ensaios de análise granulométrica para os dois tipos de agregados: areia amarela e resíduos de madeira.

Na areia amarela, os procedimentos adotados para realização deste ensaio foram:

1. Separação da amostra e secagem em estufa a uma temperatura de 60°C por, no mínimo, 24h. Em seguida, retirada e arrefecimento à temperatura ambiente. Pesagem da amostra (M1) e das peneiras, uma a uma;
2. Despejo do material na coluna de peneiras encaixadas e dispostas em ordem decrescente de dimensão das aberturas, a começar pela peneira de nº 4 até a peneira de nº 400;
3. Agitação da coluna de peneiras, mecanicamente, durante 5min. Retirada das peneiras e pesagem, uma a uma, começando pela de maior abertura (R1) até a de menor abertura (R20). Pesagem do material retido no fundo após a peneiração (P);
4. Registro, cálculo e validação de resultados.

A figura 3.13 apresenta algumas etapas do ensaio.



Figura 3.13 – Pesagem da amostra (à esquerda) e peneiração mecânica (à direita)

Os procedimentos adotados para realização do ensaio nos resíduos de madeira foram:

1. Separação das amostras e pesagem conforme classe granulométrica (média e fina). Separação e pesagem das peneiras utilizadas no ensaio (nos 4, 8, 16, 30, 50, 100 e 200);
2. Despejo do material na coluna de peneiras encaixadas e disposta em ordem decrescente de dimensão das aberturas, a começar pela peneira de nº 4 até a peneira de nº 200;
3. Agitação da coluna de peneiras, mecanicamente, durante 5min. Retirada das peneiras e pesagem, uma a uma, começando pela de maior abertura (R1) até a de menor abertura (R7). Pesagem do material retido no fundo após a peneiração (P);
4. Registro, cálculo e validação de resultados.

Por meio desse tipo ensaio, é possível determinar a curva granulométrica dos agregados, o módulo de finura (MF) e a máxima/mínima dimensão do agregado (D/d).

A curva granulométrica é uma representação gráfica dos resultados e permite avaliar de forma rápida a granulometria do agregado, isto é, a percentagem de material passado e acumulado nas malhas dos peneiros.

O módulo de finura é obtido por meio de uma expressão que soma as massas retidas acumuladas nos peneiros da série principal, excetuando o peneiro nº 200, e divide o valor obtido por 100. O resultado é um valor que representa a dimensão média ponderada das partículas do agregado (Coutinho, 2002).

As dimensões máxima/mínima do agregado correspondem a menor/menor abertura da malha da peneira da serie por meio da qual atravessa uma quantidade $\geq 90\%/\leq 5\%$ de material.

No presente estudo, os dados obtidos a partir da granulometria e do MF subsidiaram a substituição da areia por resíduos de madeira em uma das duas argamassas à base de cimento branco. Para tanto, utilizou-se o sistema de equações abaixo:

$$MF_{areia} = MF_{resíduos grossos} \times \%M_{resíduos grossos} + MF_{resíduos médios} \times (1 - \%M_{resíduos médios}) \quad (13)$$

$$\%M_{resíduos grossos} + \%M_{resíduos médios} = 100\% \quad (14)$$

sendo que:

MF representa o módulo de finura;

%M representa a percentagem em massa do material.

3.3.2 Baridade

Segundo a norma NP EN 1097-3 (2002), baridade é definida pelo quociente da massa do agregado seco pelo volume (capacidade) do recipiente onde está contido. Em outras palavras, tal grandeza física, bastante utilizada em laboratório, expressa a quantidade de massa de determinado material em termos de seu volume.

O valor da baridade é expresso a partir da média dos 3 valores calculados segundo a equação:

$$\rho_b = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (15)$$

sendo que,

ρ_b é a baridade [kg/m^3],

M_2 é a massa do recipiente cheio [kg],

M_1 é a massa do recipiente vazio [kg];

V é a capacidade do recipiente [l].

Neste trabalho, foram realizados ensaios de baridade nos ligantes (cimento branco e cal aérea) e nos agregados (areia e resíduos). Os procedimentos adotados para realização dos ensaios foram:

1. Separação das amostras e secagem em estufa a uma temperatura de 60°C por, no mínimo, 24h. Retirada e arrefecimento à temperatura ambiente. Pesagem do provete vazio, seco e limpo M_1 ;
2. Despejo de cada amostra, com uma pá, sobre funil com o seu orifício menor direcionado a provete cilíndrico, em 3 etapas, até o transbordar no provete. Para tanto, foi necessária compactação entre camadas (20 batidas), por meio de bastão metálico.
3. Remoção do excedente, de modo a evitar a segregação, e nivelamento com ajuda de uma régua, evitando a compactação na superfície do provete;
4. Pesagem do recipiente cheio M_2 e registro de sua massa, com aproximação de 0,1%. Despejo e repetição do processo por mais duas vezes;
5. Registro, cálculo e validação dos resultados.

A figura 3.14 apresenta algumas etapas do procedimento.



Figura 3.14 – Pesagem das amostras de argamassa para cimento branco (à esquerda), cal aérea (ao centro) e resíduos (à direita)

No particular, a baridade foi utilizada para determinar a quantidade, em massa, a ser utilizada de cada material para cada traço de argamassa, mensurado em volume.





3.4 Fabricação das argamassas e provetes

No caso em apreço, para a determinação da quantidade de argamassa e tipos de provetes, foi necessário definir um plano de ensaios a ser executado nas amostras, detalhados a seguir.

3.4.1 Plano de ensaios e tipos de provetes

Inicialmente, foram definidos 4 tipos de provetes para atender a demanda de ensaios deste trabalho, especificados no quadro 3.1 abaixo.

Quadro 3.1 – Definição e geometria dos provetes por tipo de ensaios

Nome	Forma	Figura	Dimensões	Quantidade	Ensaio
Provete Tipo 1	Prismática		40 mm x 40 mm x 160 mm	3 por argamassa	Resistência à compressão Resistência à flexão Porosidade aberta Massa volúmica
Provete Tipo 2	Cilíndrica		95 mm x 20 mm	3 por argamassa	Condutibilidade térmica
Provete Tipo 3	Prismática (sobre bloco cerâmico)		300 mm x 10 mm x 200 mm	1 por argamassa	Coesão superficial Dureza superficial Erosão por desgaste
Provete Tipo 4	Prismática		100 mm x 100 mm x 10 mm	3 por argamassa	Câmera condicionada Termografia

Quanto aos sistemas de pintura, os provetes tipos 1 e 2 não receberam qualquer tipo de acabamento, enquanto os provetes tipos 3 e 4 tiveram sua superfície pintada, conforme os três diferentes sistemas de pintura referenciados em 3.2.5.

A seguir, estão detalhados os procedimentos adotados na fabricação e pintura de todos os provetes utilizados no presente trabalho.

3.4.2 Preparação das argamassas

3.4.2.1 Composição

Como já consignado, foram produzidos três tipos de argamassas para este estudo, sendo duas à base de argamassa para cimento branco e uma à base de cal aérea. Tais argamassas foram fabricadas para apresentarem traço de uma parte de ligante, três partes de agregado, sendo que a

relação água/ligante foi acertada durante o ensaio de consistência por espalhamento, consoante a trabalhabilidade pretendida.

Relativamente ao superplastificante, foi utilizada uma proporção de 0,5% face à massa do ligante. Essa percentagem manteve-se constante para todas as composições realizadas e seguiu as instruções do fabricante.

Os volumes de materiais a serem utilizados foram calculados segundo o número total de provetes por argamassa. A partir das dimensões dos provetes, foi calculado o volume total de argamassa a ser utilizado, o qual foi dividido proporcionalmente de acordo com o traço anteriormente especificado. No que toca às quantidades, obteve-se a dosagem de material por meio dos ensaios de baridade mencionados em 3.3.2.

Com o intuito de conferir um desempenho térmico melhorado no comportamento de argamassas, foi utilizado 30% em volume de resíduos de madeira, em substituição à areia em uma das argamassas à base de cimento branco. Tal substituição ocasionou um ajuste no traço desta argamassa, cuja composição passou a ser de uma parte de argamassa com ligante, uma parte de areia e meia parte de resíduo. A relação água/ligante também foi devidamente adequada durante o ensaio de consistência. Ressalte-se que tal mudança foi realizada em massa e em concordância com a granulometria da areia e dos resíduos de madeira mencionados em 3.3.1.

Definidas as proporções, a quantidade, composição e nomenclatura fornecida a cada argamassa após o processo de fabricação firmaram-se nas quantidades apresentadas na tabela 3.2:

Tabela 3.2 – Composição das argamassas

Nomenclatura utilizada na preparação	Quantidade de material utilizada						Total (g)
	Arg CEM BR (g)	Cal aérea (g)	Areia (g)	Resíduo de madeira (g)	Água (g)	Superplastificante (g)	
Argamassa tipo 1 (CAA)	–	460,2	4.560,1	–	833,9	2,3	5.856,5
Argamassa tipo 2 (CBA)	1.328,7	–	3.649,9	–	537,0	6,6	5.522,2
Argamassa tipo 3 (CBAP)	1.660,6	–	1.519,9	268,8	807,0	8,3	4.264,6

3.4.2.2 Amassadura

Na produção das argamassas pretendidas, utilizou-se um misturador mecânico durante a fase de amassadura das argamassas. Tal misturador é composto de:

- Recipiente (cuba) em aço inoxidável com capacidade de armazenar até 5 litros de material, fixado firmemente à armação do misturador;
- Pá misturadora em aço inoxidável, que produz um movimento de rotação acompanhada de um movimento planetário em torno do eixo do recipiente, acionado por um motor elétrico de velocidade regulável.

Os procedimentos adotados para produção das argamassas foram:

1. Separação e pesagem dos materiais numa balança com precisão de 0,1g, seguido por uma mistura e primeira homogeneização manual das amostras secas num tabuleiro metálico com o auxílio de uma colher de pedreiro;
2. Despejo da mistura no recipiente do misturador mecânico, pouco a pouco, acompanhada por seguidas homogeneizações até sua completa ocupação;
3. Acionamento do misturador mecânico e despejo da primeira porção de água;
4. Após 60s, desligamento do misturador seguida de nova homogeneização manual da argamassa no próprio recipiente;
5. Após intervalo de descanso, novo acionamento do misturador mecânico seguida de despejo de novas porções de água até a argamassa atingir a consistência desejada.
6. Desligamento do misturador e preparação para o ensaio de consistência por espalhamento.

A figura 3.15 apresenta o misturador mecânico e o processo de amassadura:



Figura 3.15 – Misturador mecânico (à esquerda) e cuba (à direita) durante fase de homogeneização

3.4.3 Preparação dos provetes

3.4.3.1 Moldagem e condicionamento dos provetes

Efetuada o ensaio na argamassa no estado fresco, procedeu-se a preparação e moldagem dos provetes. Nesse processo, foram necessários alguns equipamentos específicos:

- Moldes de madeira para armazenar provetes de dimensão 100 mm x 100 mm x 10 mm;
- Moldes de PVC para armazenar provetes de dimensão 95 mm x 20 mm;
- Moldes de metal para armazenar provetes de dimensão 160 mm x 160 mm x 40 mm;
- Tijolo cerâmico e moldes de madeira para armazenar provetes de dimensão 300 mm x 200 mm x 10 mm; e

- Demais utensílios utilizados para manusear as argamassas, tais como colher, talocha e broxa de pedreiro.

O processo de moldagem teve por base o seguinte procedimento:

1. Aplicação nos moldes em que a argamassa foi condicionada de óleo descofrante por meio de pincel.
2. Preenchimento dos moldes com a argamassa fabricada, em 2 camadas, acompanhada por um processo de compactação de 20 pancadas por meio de uma varinha metálica;
3. Retirada do excesso de argamassa com o auxílio de uma régua metálica.

A figura 3.16 demonstra o processo de moldagem.



Figura 3.16 – Moldagem dos provetes tipo 3 (à esquerda), dos provetes tipo 1 (ao centro) e dos provetes tipo 4 (à direita)

Finalizado tal processo, os provetes foram encaminhados para uma sala condicionada, a fim de serem armazenados durante 7 dias, a uma temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5\%$. Passado esse tempo, os provetes foram retirados e desmoldados com cuidado para não se danificarem. Por fim, os provetes foram marcados e identificados e novamente colocados na sala condicionada, por mais 21 dias, até estarem aptos para os ensaios.

3.4.3.2 Pintura dos provetes

Passados os períodos descritos, os provetes tipos 3 e 4 foram encaminhados para o acabamento. Suas superfícies foram pintadas conforme os três diferentes sistemas referenciados em 3.2.5. A execução seguiu as instruções fornecidas pelos fabricantes e estão detalhadas a seguir:

a) Para o sistema de pintura preta e branca:

1. Secagem e limpeza das superfícies dos provetes a serem pintadas. Abertura das latas de tinta e homogeneização com varão de madeira antes da aplicação;

2. Aplicação da 1ª demão de tinta com trincha e espalhamento sobre a superfície com rolo até atingir a completa pintura e espessura recomendada. Secagem em laboratório durante 6h;
3. Aplicação da 2ª demão de tinta com trincha e espalhamento sobre a superfície com rolo até atingir a completa cobertura da demão anterior. Secagem em laboratório por mais de 6h.

b) Para o sistema de pintura termo cromática:

1. Secagem e limpeza das superfícies dos provetes de cores branca que foram pintados. Abertura da lata de verniz e homogeneização com bastão de madeira antes da aplicação;
2. Separação e pesagem das amostras de verniz e pigmento termo cromático. Foram adicionados 10% em massa (g) de pigmento para cada volume (ml) de verniz utilizado. Mistura dos produtos com uma espátula de metal num recipiente de vidro até a completa homogeneização, que se estabilizou na cor preta devido à temperatura estar abaixo dos 31°C;
3. Aplicação da 1ª demão de verniz com pigmento termo cromático com trincha e espalhamento sobre a superfície com rolo até atingir a completa pintura e espessura recomendada. Secagem em laboratório durante 3h;
4. Aplicação da 2ª demão de verniz com pigmento termo cromático com trincha e espalhamento sobre a superfície com rolo até atingir a completa cobertura da demão anterior. Secagem em laboratório por mais de 3h.

Seguindo a determinação do plano de ensaios discriminado em 3.4.1, foram produzidos um provete do tipo 3 (em suporte cerâmico) e três provetes do tipo 4 para cada argamassa fabricada. Portanto, considerando os três sistemas de pintura, existiam um total de doze provetes para receberem os procedimentos de acabamento por pintura.

Os provetes do tipo 3 foram as amostras que receberam os procedimentos de acabamento em bloco cerâmico. Suas superfícies foram divididas em quatro zonas de acabamento, das quais três receberam os sistemas de pintura mencionados acima e um não, ficando, pois, sem acabamento, apenas rebocado.

Enquanto os provetes do tipo 3 foram divididos em zonas, as amostras tipo 4 receberam os acabamentos na totalidade de suas superfícies. O quadro 3.2 detalha como essas superfícies foram pintadas:

Quadro 3.2 – Sistema de pintura adotado nos provetes tipo 4

Nomenclatura das argamassas	Sistema de pintura dos provetes tipo 4		
	1	2	3
Argamassa tipo 1 (CAA)	Pintura preta	Pintura branca	Pintura termo cromática sobre pintura branca
Argamassa tipo 2 (CBA)	Pintura preta	Pintura branca	Pintura termo cromática sobre pintura branca
Argamassa tipo 3 (CBAP)	Pintura preta	Pintura branca	Pintura termo cromática sobre pintura branca

A figura 3.17 exhibe como ficaram as superfícies dos provetes dos tipos 3 e 4 após o processo de acabamento por pintura.

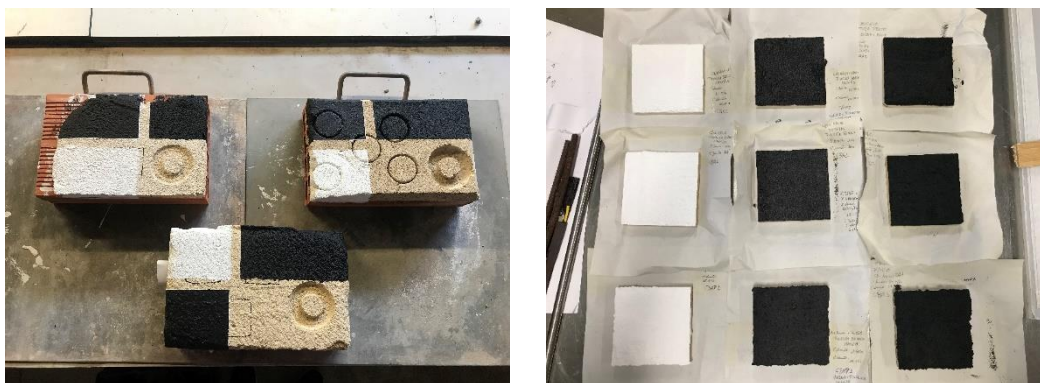


Figura 3.17– Sistemas de pintura nos provetes tipo 3 (à esquerda) e tipo 4 (à direita)

Após a secagem, os provetes foram novamente encaminhados para a sala condicionada, onde permaneceram em temperatura e humidade controladas até começarem os ensaios.

3.5 Ensaios realizados nas argamassas

Finalizados os procedimentos de fabricação, partiu-se para a caracterização dos diferentes compósitos de argamassa. Para esse efeito, foram realizados ensaios na argamassa no estado fresco, nomeadamente ensaio de consistência por espalhamento, bem como no estado endurecido, especificamente ensaio de resistência mecânica, de massa volúmica, de porosidade aberta e de condutibilidade térmica.

Vale destacar que todas as argamassas fabricadas nesse trabalho foram sujeitas às mesmas condições de ensaio, sendo que, no estado fresco, as atividades foram realizadas logo após o procedimento de amassadura e, no estado endurecido, após os 28 dias de idade das amostras.

Finda a caracterização das argamassas, focou-se na verificação e avaliação do funcionamento dos sistemas de pintura adotados neste trabalho. Para tanto, foram realizados os seguintes ensaios: de coesão, de dureza superficial e de erosão por desgaste nos provetes do tipo 3; e térmicos na câmara climática e na câmara termográfica nos provetes do tipo 4.

Os resultados de todos os ensaios encontram-se no Apêndice A.

3.5.1 Ensaios de caracterização das argamassas

3.5.1.1 Consistência por espalhamento

O ensaio de consistência por espalhamento foi realizado entre os processos de preparação e moldagem das argamassas, de acordo com a norma BS EN 1015-3 (1999). O resultado obtido corresponde à fluidez e/ou ao grau de molhagem das argamassas frescas, de modo a fornecer uma indicação sobre sua deformabilidade quando submetida a determinado tipo de tensão (Faria, 2004).

Uma outra utilidade desse tipo de ensaio é a aferição da quantidade de água que deve ser incorporada na argamassa, com o escopo de alcançar a trabalhabilidade pretendida, a qual, por sua vez, está condicionada à finalidade de reboco ou assentamento da argamassa.

A seguir, estão os procedimentos que foram adotados e algumas fotos do ensaio:

1. Umedecimento das ferramentas utilizadas no ensaio: mesa de espalhamento, molde de tronco cônico e varão metálico;
2. Realização da mistura, posicionamento do molde no centro da mesa de espalhamento e preenchimento de seu interior com a argamassa em duas camadas, compactando cada uma com 20 pancadas por meio de um varão metálico (figura 3.18);
3. Retirada do excesso de argamassa com o auxílio de uma régua metálica;
4. Retirada do molde e rotação da manivela da mesa de espalhamento de modo a provocar 15 giros em 15 segundos;
5. Medição das distâncias d' (cm) entre os pontos opostos da linha de contorno da argamassa, segundo os três eixos demarcados na mesa de espalhamento (figura 3.18);

Nesse contexto, o valor de espalhamento foi obtido, em percentagem, através da expressão:

$$espalhamento = \frac{d-10}{10} \quad (16)$$

sendo que d é a média dos 4 valores de d' .



Figura 3.18 – Ensaio sendo realizado na argamassa CBA: argamassa molde e mesa de espalhamento (à esquerda) e medição d' (à direita)

3.5.1.2 Resistência mecânica à flexão

Trata-se de um ensaio destrutivo que serve para determinar se a resistência à flexão da argamassa encontra-se em conformidade com a especificação da norma NP EN 196-1 (2017).

No caso em apreço, os provetes ensaiados foram os do tipo 1, porém a idade de 28 dias foi muito ultrapassada na data do experimento, porquanto a máquina universal Zwick/Rowell, modelo Z050, necessária ao ensaio, ficou avariada por um longo período.



Figura 3.19 – Prisma da argamassa CAA a ser ensaiado

A referida máquina foi posicionada de modo que sua célula de carga (máxima de 2 kN) ficasse na extremidade em contato com a superfície provete. A rotura por flexão foi provocada por ação em três pontos, dois pontos de apoio e um ponto de carga, a meio vão (figura 3.19).

A seguir, estão os procedimentos realizados:

1. Colocação do prisma na máquina de flexão, com uma das faces laterais de moldagem centralizada sobre os cilindros de apoio;
2. Aplicação da carga vertical a meio vão, na face oposta do prisma, por meio do cilindro de apoio, a uma velocidade constante de 0,2 mm/min até a rotura;
3. Retirada e conservação dos semi-prismas resultantes para o ensaio de compressão;

O valor da força máxima aplicada no instante antes da rotura foi fornecido por meio de um software conectado à máquina do ensaio e o valor da resistência à tração por flexão foi calculado por meio da equação:

$$R_t = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (17)$$

Onde,

R_t – é a resistência à flexão [MPa];

$F_{f,máx}$ – é a carga de rotura aplicada no centro do prisma [N];

l – é a distância entre pontos de apoio [mm];

b – é a dimensão do lado da secção quadrada do prisma [mm].

Finalizado o ensaio, os semi-prismas foram divididos manualmente na zona da fissura, sendo que uma metade foi encaminhada para o ensaio de resistência à compressão e a outra metade foi encaminhada para o ensaio de massa volúmica e porosidade aberta.

3.5.1.3 Resistência mecânica à compressão

Na continuação dos testes destrutivos, foi realizado ensaio de resistência à compressão. Trata-se de um ensaio que também tem por base a norma NP EN 196-1 (2017) e utiliza o mesmo equipamento do ensaio anterior, mas com a alteração da referida célula de carga para um máximo de 50 kN.

No particular, o objetivo também era o mesmo: determinar se a resistência à compressão da argamassa encontra-se em conformidade com a especificação, apesar da longa idade dos provetes. Neste caso, a rotura por compressão foi provocada por meio de um dispositivo colocado entre os pratos da máquina para transmitir a carga às faces do prisma (figura 3.20).



Figura 3.20 – Prisma a ser ensaiado na argamassa CBAP

A seguir, descrição dos procedimentos realizados:

1. Colocação do semi-prisma no dispositivo, sobre as faces laterais de moldagem. Centralização do dispositivo sobre os pratos da máquina de compressão;
2. Aplicação da carga vertical sobre o dispositivo, a uma velocidade constante de 0,7 mm/min, até a rotura;
3. Coleta dos dados do software conectado à máquina do ensaio, especificamente, os valores da força máxima de compressão aplicada;
4. Acondicionamento dos semi-prismas resultantes para futuros ensaios.

O valor da resistência à compressão foi calculado dividindo-se o valor da força máxima obtida pela área da seção onde foi aplicada:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (18)$$

Onde,

R_c – é a resistência à compressão [MPa];

F_c – é a carga de rotura máxima aplicada sobre o semi-prisma [N];

1600 – é a dimensão do lado da secção quadrada do prisma [mm²].

3.5.1.4 Porosidade aberta e massa volúmica aparente

A porosidade aberta P_{ab} é o quociente entre o volume dos poros abertos e o volume limitado pela superfície externa do provete, nos termos da norma NP EN 1936 (2008). É calculada por meio da seguinte expressão, representada em percentagem:

$$P_{ab} = \frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} \times 100 \quad (19)$$

Já a massa volúmica aparente é o quociente entre a massa do provete seco e o seu volume aparente, qual seja, o volume limitado pela superfície externa do provete. Seu valor é obtido em kg/m³ por meio da fórmula:

$$P_b = \frac{M_1}{M_3 - M_2} \times 10^3 \quad (20)$$

Para esses ensaios, utilizaram-se os semi-prismas resultantes do ensaio de resistência mecânica por tração. Abaixo, estão detalhados os procedimentos adotados, seguidos por algumas fotos do ensaio:

1. Identificação dos semi-prismas e colocação na estufa ventilada, a uma temperatura de 60°C, até atingirem uma massa constante (variação entre duas pesagens deve ser < 0,1% no intervalo de 24h);
2. Registro da massa M_1 de cada provete, por meio de uma balança de precisão 0,001g;
3. Disposição dos semi-prismas em um exsiccador interligado, por meio de um kitasato contendo sílica-gel, a uma bomba a vácuo, a qual exerceu uma pressão de 2667 Pa durante 24h (figura 3.21);
4. Introdução lenta de água, a uma temperatura entre 15 a 20°C, até a imersão total dos provetes, que foram então mantidos durante 24h sob uma pressão de 2667 Pa e mais 24h sob pressão atmosférica normal (figura 3.21);
5. Pesagem dos provetes em imersão hidrostática M_2 e em estado de saturação M_3 .



Figura 3.21 – Exsicador aberto com a disposição dos semi-prismas (à esquerda) e sobre pressão (à direita)

3.5.1.5 Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica - λ , expressa em $[W/(m.k)]$ ou $[W/(m.^{\circ}C)]$, caracteriza-se pela maneira como cada material se deixa atravessar pelo calor. Em outras palavras, representa a quantidade de calor, expressa em $[W]$, que atravessa uma espessura unitária $[m]$, sendo mensurada por unidade de área $[m^2]$ de material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura (Henriques, 2016).

Neste trabalho, utilizou-se o equipamento “ISOMET Model 2014” para obtenção do fluxo térmico de cada provete do tipo 2 ensaiado. Tal fluxo é emitido por aquecimento elétrico de uma resistência inserida numa sonda de superfície, modelo API 210412, ligada ao equipamento e colocada sobre o provete. A figura 3.22 apresenta o equipamento e a sonda utilizados.



Figura 3.22 – ISOMET Model 2014 e sonda API 210412

O procedimento adotado nesse ensaio foi baseado nas normas de utilização do equipamento e encontra-se listado abaixo:

1. Após os 28 dias de idade, retirada dos provetes do tipo 2 da sala condicionada e encaminhamento para a estufa ventilada, onde permaneceram durante 24h, de modo a garantir o menor teor de água possível;
2. Passado o período determinado, retirada dos aludidos provetes da estufa e manutenção em laboratório para arrefecimento até temperatura ambiente.
3. Posicionamento dos provetes sobre uma placa de XPS, assente em uma superfície plana, para a execução do ensaio;
4. Alocação do disco medidor sobre o provete e início do processo de medição (figura 3.22);
5. Registro de três valores de condutibilidade térmica para cada provete cilíndrico fabricado.

A média dos 3 valores foi calculada e utilizada como dado de entrada na avaliação numérica realizada no EnergyPlus.

3.6 Ensaio realizados nas argamassas com acabamento

Após a narração dos experimentos realizados nos provetes dos tipos 1 e 2, a seguir, estão descritos os procedimentos adotados na realização dos ensaios das argamassas com acabamento por pintura, isto é, nos provetes dos tipos 3 e 4.

3.6.1 Coesão superficial

No caso em apreço, a coesão superficial foi determinada com base nos estudos propostos por Drdácý et al. (2015) e adaptados por Lima, Correia e Faria (2016). Assim, para aferição da quantidade de massa incrementada foi utilizada uma fita adesiva aplicada sobre a superfície dos provetes e submetida à pressão durante um determinado período de tempo.

Assim, o passo a passo adotado para a realização deste ensaio foi:

1. Corte e pesagem (P_1) de pedaços da fita-cola da marca Tesa, referência Extra Power, no tamanho 0,05 x 0,05m;
2. Colagem dos pedaços de fita nas superfícies limpas de acabamento das amostras;
3. Colocação de uma camada de neoprene, previamente cortado nas mesmas dimensões que a fita, a fim de permitir uma posterior distribuição uniforme das tensões geradas pelo peso;
4. Alocação de um peso de 5kg sobre as fitas, durante 30 min (figura 3.23);
5. Retirada do peso e extração da fita-cola com um único movimento brusco em cada um dos provetes, seguido de novo procedimento de pesagem das fitas (P_2).

Tal conduta foi adotada em cada uma das quatro zonas dos provetes tipo 3, por três vezes.

Assim, a avaliação da coesão superficial de cada sistema de acabamento foi mensurada pela quantidade de massa aderida à fita após a sua remoção da superfície de cada zona do provete (figura 3.23).

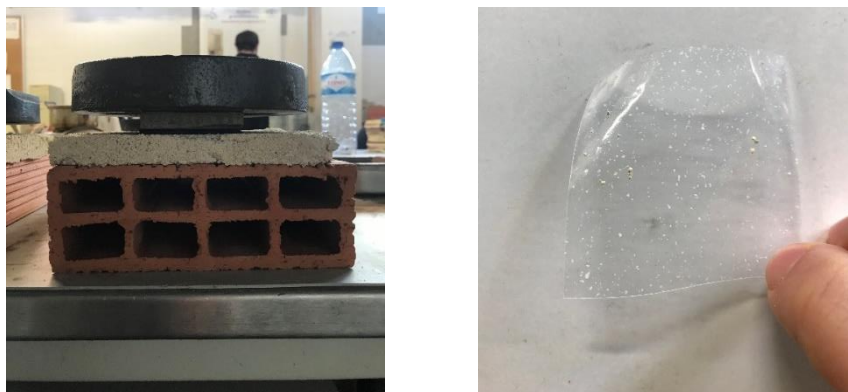


Figura 3.23 – Ensaio de coesão superficial na argamassa CAA: passos 3 (à esquerda) e 4 (à direita)

3.6.2 Dureza superficial

Um ensaio de determinação da dureza superficial consiste na aferição da resistência à penetração que as argamassas possuem no estado endurecido. Neste trabalho, foram realizadas 12 leituras em cada um dos provetes tipo 3, através de um equipamento chamado Durômetro HD 300 (figura 3.24). Esse instrumento de medição possui uma agulha móvel em uma das extremidades que, quando pressionada contra a argamassa, retrai e registra a resistência imprimida. Tal equipamento está em consonância com a norma ASTM D 2240 (2000).

Assim, cada uma das quatro zonas dos provetes do tipo 3 (cfr. item 3.4.3.2) recebeu 3 medições aleatórias (superior, central e inferior) e os resultados foram expressos em graus Shore A, os quais variam entre 0 e 100°. Quanto maior o grau obtido, maior o valor da dureza superficial.



Figura 3.24 – Ensaio de dureza superficial

3.6.3 Erosão por desgaste à seco

Um ensaio de avaliação de erosão por desgaste a seco consiste na aferição da resistência à abrasão na superfície das argamassas conforme a norma DIN 18947 (Faria, Santos e Aubert, 2016). No particular, utilizou-se um equipamento chamado Furador coluna Mader, o qual desgastou a superfície da amostra, por meio de vinte rotações de uma escova circular fibrosa, de 65 cm de diâmetro, aplicada com uma pressão de 2kg. Ressalte-se que, dentre as três opções disponíveis no laboratório, essa era a escova de maior rigidez.

Assim, o procedimento adotado para a realização deste ensaio foi:

1. Pesagem dos provetes numa balança de precisão de 0,1g;
2. Posicionamento dos provetes sobre a superfície plana do equipamento e sob a escova circular, que estava devidamente em contato com a superfície sujeita ao desgaste (figura 3.25);
3. Vinte rotações manuais da escova contra a superfície do provete tipo 3;
4. Nova pesagem dos provetes.

O ensaio foi realizado nas quatro diferentes superfícies de cada provete tipo 3. As diferenças de massas iniciais e finais de cada provete quantificaram a erosão provocado pela escova.



Figura 3.25 – Ensaio de abrasão superficial

3.6.4 Análise térmica na câmara climática

Os nove provetes tipo 4, que receberam acabamento em três sistemas de pintura diferentes²³, foram submetidos a um ensaio em diferentes temperaturas numa camara climática. O objetivo era

²³ Cfr. item 3.4.3.2.

verificar se o sistema de pintura termo cromática alteraria sua coloração na medida em que a temperatura fosse modificada. Para tanto, utilizou-se o equipamento FITOCLIMA 300 ETDU da Aralab, uma câmara climática na qual foi possível controlar a temperatura de exposição dos provetes.



Figura 3.26 – Câmara climática FITOCLIMA

O procedimento adotado para esse ensaio foi:

1. Posicionamento dos provetes na câmara climática na posição vertical, com sustentação por apoios metálicos;
2. Alteração das condições temperatura na câmara climática e na sala climatizada para os valores de ensaio, nomeadamente 20°C, 26°C, 28,5°C, 31°C, 37°C e novamente 20°C, exatamente nessa ordem;
3. Cada vez que atingida uma das temperaturas de ensaio, abertura da câmara condicionada, a fim de fotografar e verificar a coloração dos provetes por aproximadamente 1 min;

As temperaturas mencionadas foram escolhidas com base na temperatura de ativação de 31°C, fornecida pelo fabricante do pigmento termo cromático. Segundo as informações oficiais do produto, a cor começa a desbotar 5°C abaixo da temperatura de ativação.

Os resultados estão apresentados e discutidos no capítulo 5.

3.6.5 Termografia

A termografia é um método não destrutivo e importante na determinação de temperaturas superficiais dos objetos. No caso em tela, o experimento foi realizado com o auxílio da ThermoCAM™

B4 da FLIR, uma câmara termográfica infravermelha especialmente desenvolvida para a indústria da construção civil. O maquinário possui uma faixa de medição entre os -20°C e os 55°C , precisão $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 2\%$ e resolução de $0,08^{\circ}\text{C}$ a 30°C . A metodologia utilizada foi a detecção da radiação infravermelha emitida pelo provete e conversão em sinal elétrico a fim de produzir imagens térmicas (termografias) na superfície de toda a amostra (FLIR Systems, 2005).

Vale destacar que os resultados termográficos não derivam apenas da temperatura do objeto, mas também de outros parâmetros igualmente aferidos pelo equipamento, quais sejam, emissividade do objeto, temperatura aparente refletida, distância entre o objeto e a câmara, humidade relativa e temperatura da atmosfera (FLIR Systems, 2005).



Figura 3.27 – Câmara termográfica ThermoCAM™ B4

O procedimento adotado para esse ensaio foi:

1. Colocação dos provetes em um caixote de 1000mm x 420mm x 350mm, feito em painéis contraplacados de madeira (20 mm de espessura), aberto na parte frontal e forrado internamente com 20mm de EPS de cor acinzentada;
2. Colocação e suporte dos provetes dentro da caixa, na posição vertical, com auxílio de apoios metálicos;
3. Ligação, aquecimento, calibração e alimentação dos dados de entrada na câmara termográfica;
4. Posicionamento de um refletor de 1.000 W (lâmpada halógena) a 1m de distância das amostras (desligada);
5. Direcionamento da câmara termográfica para cada provete, a fim de obter suas temperaturas superficiais no início do ensaio ($t_0=0\text{s}$);
6. Acendimento do refletor, início da cronometragem e registro das temperaturas superficiais das amostras, por meio da câmara termográfica, nos instantes $t_1=300\text{s}$, $t_2=600\text{s}$ e $t_3=900\text{s}$;
7. Desligamento do refletor (fonte de energia) e finalização do ensaio.

Todos os resultados estão apresentados e discutidos no capítulo 5.

4 Simulação numérica por meio do programa EnergyPlus

4.1 Considerações iniciais

O EnergyPlusTM é um programa de modelação informático, projetado para simular o comportamento térmico de edifícios, com todos os seus fluxos associados, tais como aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação, além de outros. Desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), trata-se de um software gratuito que se encontra disponível em seu website oficial, desde de sua fabricação em 2001 (U. S. Department of Energy, 2015a).

Constituído por vários módulos internos, seu mecanismo de simulação independente permite uma organização dos dados de entrada e várias opções de cálculo e processamento das informações. Na figura 4.1, pode-se observar a metodologia de funcionamento do programa (U. S. Department of Energy, 2015a).

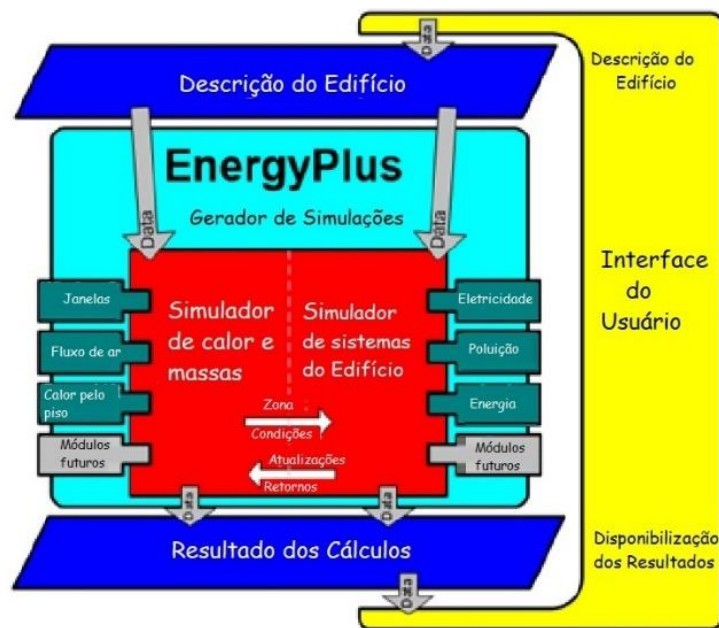


Figura 4.1 – EnergyPlus – cenário (adaptado de U. S. Department of Energy, 2015a)

Fundamentado pelos *inputs* (entradas) e *outputs* (saídas), o programa calcula as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento dos edifícios, de acordo com os padrões de conforto térmico definidos pelo usuário. Tais definições são inseridas no programa por meio da ferramenta IDF Editor, pela qual o utilizador é capaz de introduzir uma variada série de parâmetros de entrada – tais como a geometria do edifício, os materiais das envolventes, os sistemas de climatização e de utilização, além de um elevado número de *outputs*, que permitem avaliar a influência de vários parâmetros de simulação (U. S. Department of Energy, 2015b).

Já nos seus algoritmos de cálculo, o balanço energético do programa observa desde princípios de volume e de conservação de massa e energia, até de transmissão de calor por condução, convecção

e radiação. Além disso, o programa examina os fenômenos de transferência de calor entre o edifício e o meio exterior, considerando que o interior do edifício se encontra em constante interação com o meio exterior durante todo o período da simulação (U. S. Department of Energy, 2015b).

Após a introdução dos inputs e outputs adequados no IDF Editor, as simulações são realizadas numa outra plataforma do EnergyPlus, o EP-Launch. Nessa plataforma, são inseridos o ficheiro climático, que apresenta os dados climáticos referentes à localidade escolhida – no programa, estão disponíveis dados de aproximadamente 2.100 localizações, e o ficheiro modelo produzido a partir do IDF Editor. Os resultados das simulações são disponibilizados em vários formatos e contêm informações acerca de eventuais erros de simulação (U. S. Department of Energy, 2015b).

Por todo o exposto, o EnergyPlus é uma ferramenta que, devido à diversidade de parâmetros, proporciona uma metodologia de cálculo dinâmico, possibilitando uma análise complexa das iterações entre as envolventes do edifício. Suas simulações são, portanto, mais realistas, quando comparadas àquelas obtidas por outros métodos de estudo.

4.2 Modelo de estudo

O modelo utilizado nas simulações realizadas foi um edifício unifamiliar constituído por 2 pisos, que contém uma área de pavimento de 119,34 m², uma área bruta de parede de 259,20 m², uma área de vidro de 57,42 m² e um pé direito de 2,7 m por andar. A figura 4.2 abaixo ilustra o modelo mencionado, cujo sistema construtivo e arquitetónico encontram-se disponíveis no Anexo B.

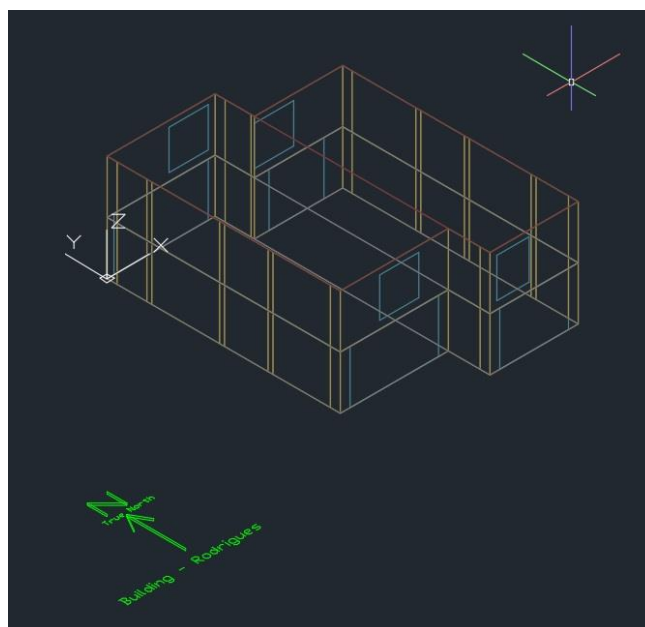


Figura 4.2 – Modelo utilizado

Definido o modelo, o passo seguinte foi abrir o IDF Editor e introduzir os parâmetros básicos para que o programa pudesse realizar as simulações. Vale ressaltar que as etapas deste trabalho observaram a ordem prescrita no programa.

4.3 Parâmetros de simulação

Os *Simulation Parameters*, ou parâmetros de simulação, utilizados neste trabalho foram: versão, edifício, algoritmo de convecção interior, algoritmo de convecção exterior e intervalo de cálculo, os quais estão detalhados a seguir.

1. **Versão** – Apresenta o primeiro e, no caso, único campo a ser preenchido. Nele foi definida a versão do programa a realizar as simulações, qual seja, a versão 8.4.

2. **Edifício** – Objeto onde foram inseridos os dados do edifício usados durante a simulação. Os campos preenchidos foram:

- **Name:** nome pelo qual o edifício foi identificado – Rodrigues.
- **North Axis:** angulação do edifício em relação ao Norte geográfico – 0 grau.
- **Terrain:** localização do terreno onde se encontra o edifício, detalhado na opção “Ocean”, devido à proximidade da região de Lisboa com o mar.
- **Solar Distribution:** distribuição da luz solar no interior do edifício, especificado como FullExterior, uma vez que o edifício possui zonas não convexas e a radiação direta incide sobre o seu pavimento.

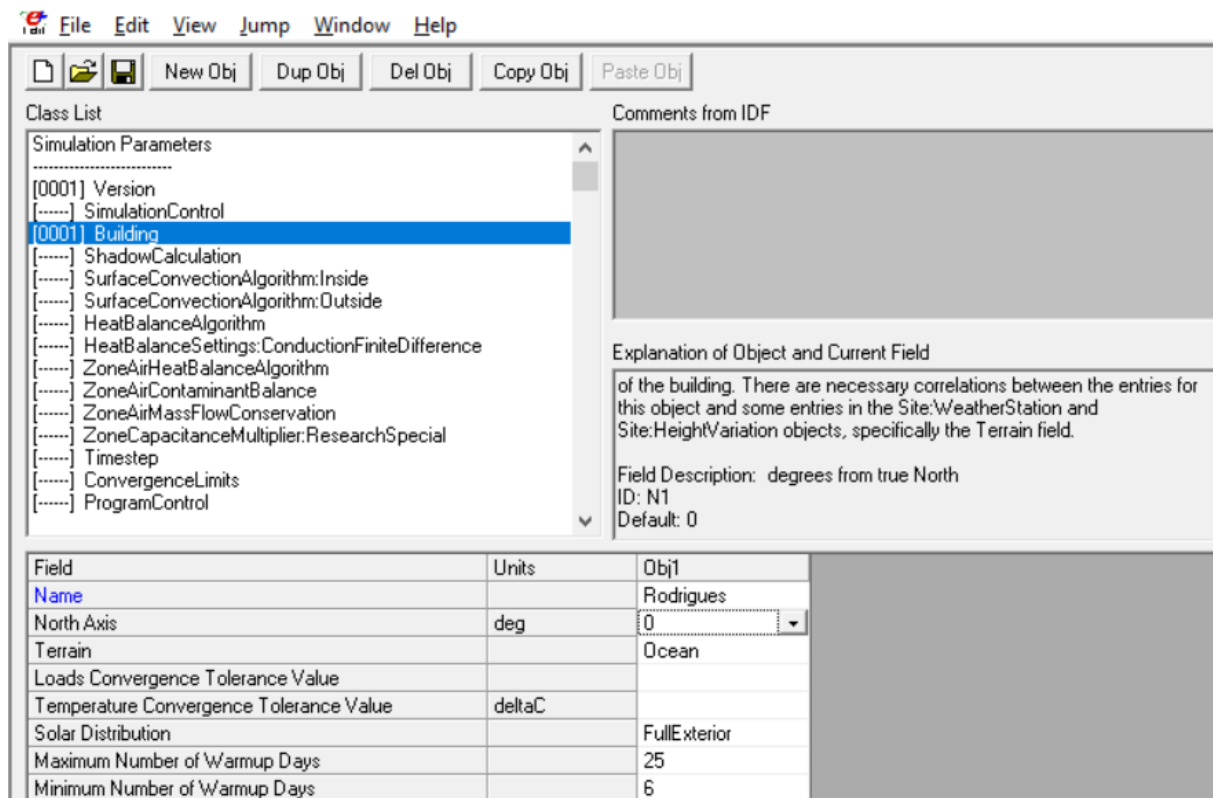


Figura 4.3 – IDF Editor – parâmetro *building*

3. **Algoritmo de convecção interior** – Objeto no qual foram definidas as correlações de convecção das superfícies do edifício em contato com o ar interior. Para tanto, foi escolhida a opção

Simple, já que esse modelo aplica coeficientes constantes de transferência de calor, segundo as normas ASHRAE.

4. Algoritmo de convecção exterior – À semelhança do parâmetro anterior, neste objeto foram definidas as correlações de convecção nas superfícies do edifício, desta vez, em contato com o ar exterior. Foi indicado o modelo *SimpleCombined*, que aplica os coeficientes de transferência de calor, os quais dependem da rugosidade e da velocidade do vento.

5. Intervalo de cálculo – Neste objeto foi especificado o número de simulações que seriam realizadas no intervalo de uma hora. Para isso, foi selecionado o modelo recomendado pelo próprio programa, *Timestep*, de 6 cálculos por hora.

4.4 Localização e clima

Esse grupo de objetos detalhou as condições do ambiente exterior. Como a cidade de Lisboa foi escolhida para a localização do edifício, o ficheiro climático utilizado foi o dessa região, devidamente disponibilizado pelo website do programa.

Os objetos aplicados no parâmetro *Location and Climate* foram o período de simulação e a temperatura do solo em contato com a superfície do edifício, nos termos a seguir especificados.

1. Período de simulação – Objeto no que foi escolhido que a simulação deveria ocorrer em três períodos (figura 4.4):

- **“Anual”**: para simular as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício pelo período de um ano;
- **“Aquecimento”**: para obter as perdas térmicas na envolvente opaca que aconteceriam na época de aquecimento. Tal período foi definido entre 1 de Novembro e 30 de Abril.
- **“Arrefecimento”**: para obter os ganhos térmicos na envolvente opaca que aconteceriam na época de arrefecimento. Esse período foi delimitado entre 1 de Maio e 31 de Outubro.

2. Temperatura do solo em contato com a superfície do edifício – Neste objeto foram definidas as temperaturas do solo a serem usadas para calcular as suas transferências de calor com o edifício. Para tanto, foi necessário utilizar o programa auxiliar *Slab*, que calculou as temperaturas do solo de acordo com o ficheiro climático inserido. A figura 4.5 demonstra o preenchimento deste objeto.

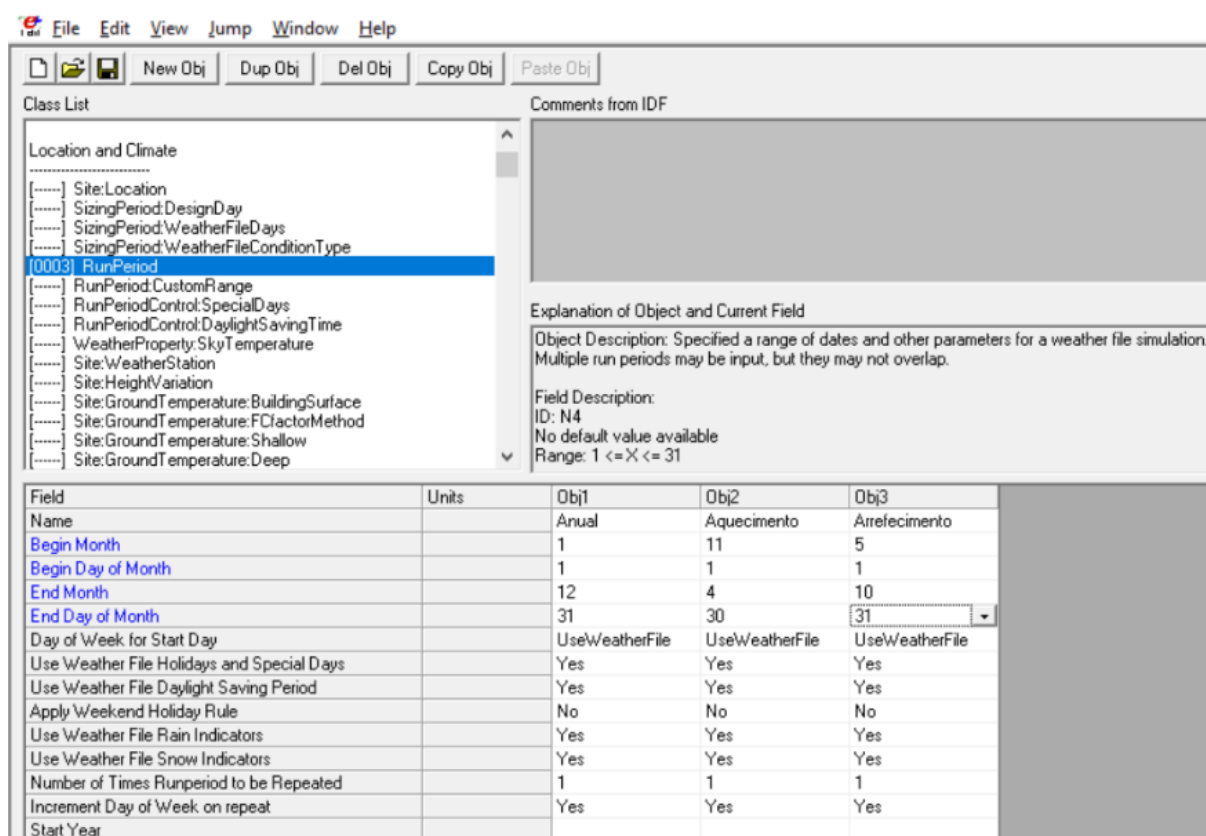


Figura 4.4 – IDF Editor – período de simulação

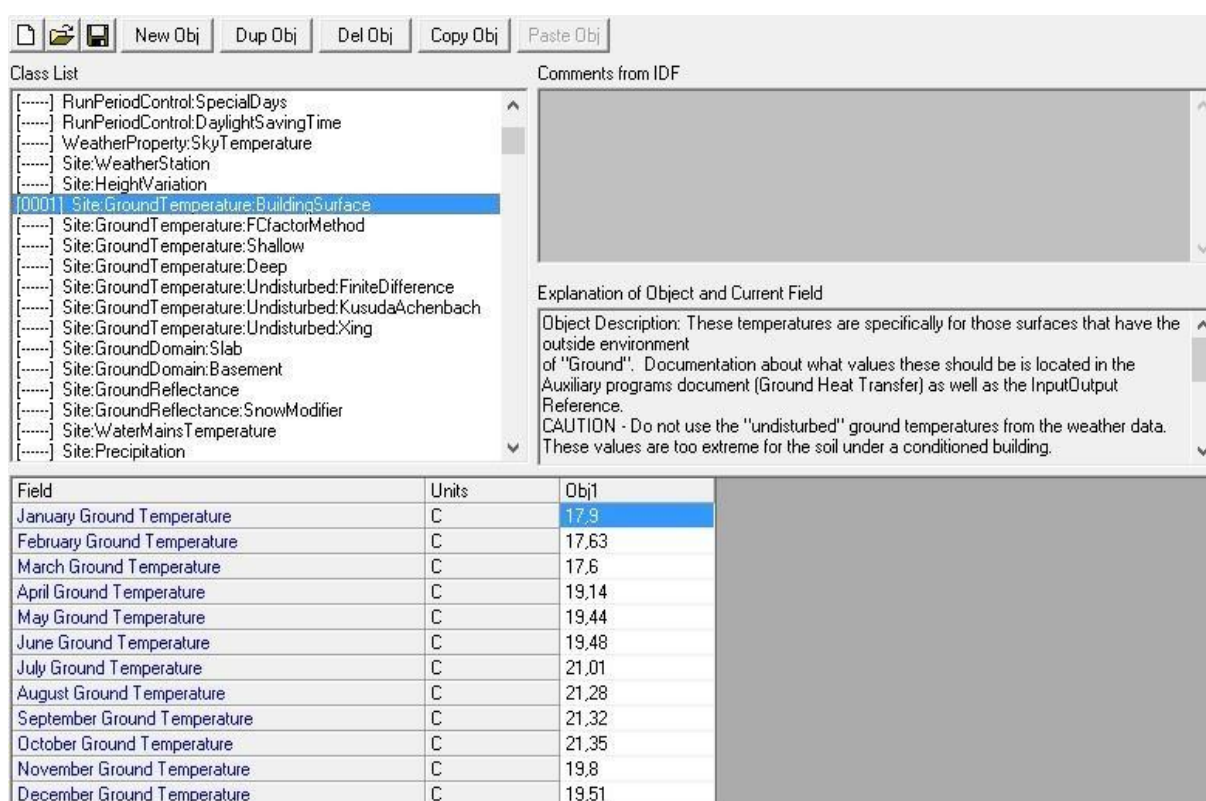


Figura 4.5 – IDF Editor – temperaturas do solo

4.5 Horários

Esse grupo de dois objetos – *Schedules* – permitiu o agendamento de horários para a aplicação de parâmetros como volume de ocupação, iluminação, controle de temperatura, dentre outros, que influenciam direta ou indiretamente no balanço energético da edificação.

1. Limites dos horários – Objeto onde foram definidos critérios quantitativos de nomes, valores e limites (mínimo e máximo) para serem associados à cada agendamento. No particular, os critérios definidos foram:

- **Porcentagem:** com limites entre 0 e 1;
- **ON/OFF:** com limites entre 0 e 1;
- **Atividade:** com limites entre 0 e 909;
- **Temperatura:** com limites entre -50 e 150;
- **HR (humidade relativa):** com limites entre 0 e 100;
- **Controle:** com limites entre 0 e 4.

2. Rotina de horários – Atribuiu uma programação constante, com horários pré-determinados, escolhidos conforme os períodos de interesse deste trabalho.

A figura 4.6 apresenta essas variáveis preenchidas no programa.

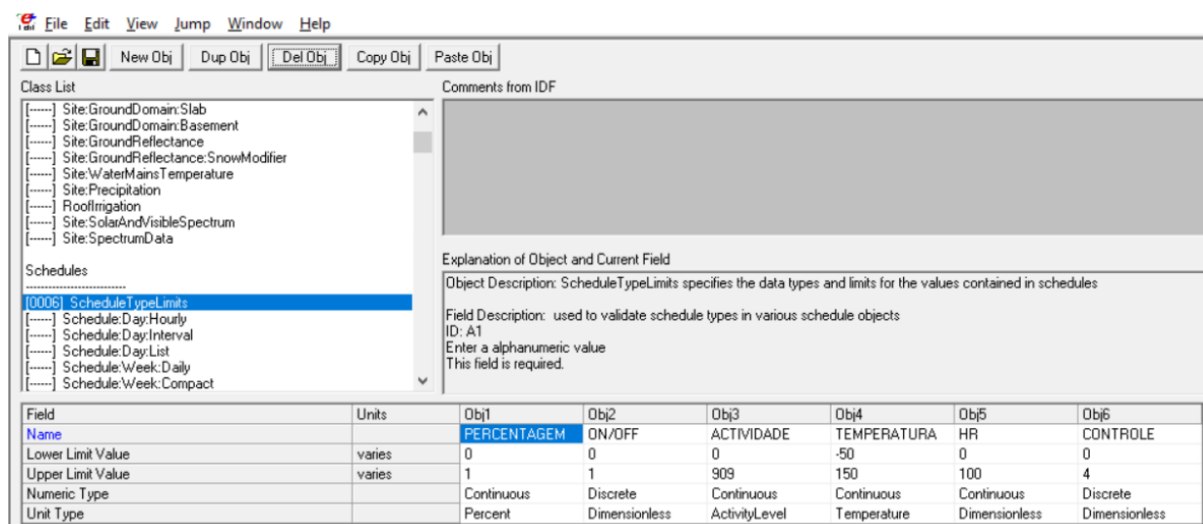


Figura 4.6 – IDF Editor – limite de horários

A figura 4.7 apresenta todas as programações utilizadas e seus respectivos períodos de agendamento.

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
ILUMINAÇÃO	VENTILAÇÃO	ATIVIDADE	OCUPAÇÃO	EQUIPAMENTOS	T max	T min	HR max	HR min	A/C
PERCENTAGEM	ON/OFF	ACTIVIDADE	PERCENTAGEM	PERCENTAGEM	TEMPERATURA	TEMPERATURA	HR	HR	CONTROLE
Through: 04/30	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Until: 18:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 08:00	Until: 08:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
.05	1	100	1	.06	24	18	65	50	4
Until: 24:00			Until: 13:00	Until: 13:00					
.7			0	.01					
Through: 09/30			Until: 14:00	Until: 14:00					
For: AllDays			.75	.08					
Until: 18:00			Until: 17:00	Until: 17:00					
.05			0	.01					
Until: 24:00			Until: 18:00	Until: 18:00					
5			.75	.08					
Through: 12/31			Until: 24:00	Until: 21:00					
For: AllDays			1	.15					
Until: 18:00				Until: 24:00					
.05				.13					
Until: 24:00									
.7									

Figura 4.7 – IDF Editor – rotina de horários

Para melhor compreensão, cada horário definido está detalhado nos tópicos a seguir.

2.1. Horários de iluminação – Definiu a iluminação da edificação ao longo do ano. A programação foi feita por meio da associação do horário estipulado com o critério “Percentagem” – limite de horário, da seguinte maneira:

- De 1 de Janeiro até 30 de Abril: uma iluminação de 5% até as 18h e de 70% até as 24h;
- De 30 de Abril até 30 de Setembro: uma iluminação de 5% até as 18h e de 50% até as 24h.
- De 30 de Setembro até 31 de Dezembro: uma iluminação de 5% até as 18h e de 70% até as 24h.

2.2. Horários de ventilação – Este objeto fixou que a ventilação mecânica da edificação ficaria ligada ao longo do ano. A programação foi realizada por meio da associação com o critério “ON/OFF” – limite de horário.

2.3. Horário das atividades – Definiu um valor de 100 W/pessoa para o metabolismo das atividades realizadas no interior do edifício. A programação foi fixada no referido valor durante todos os dias do ano.

2.4. Horários de ocupação – Este objeto estipulou a ocupação do edifício por todo o ano. Sua programação foi definida pela associação com o critério “Percentagem” – limite de horário, da seguinte maneira:

- Ocupação de 100% da 0h até as 8h;
- Ocupação de 0% das 8h às 13h;
- Ocupação de 75% das 13h às 14h;
- Ocupação de 0% das 14h às 17h;
- Ocupação de 75% das 17h às 18h;
- Ocupação de 100% das 18h às 24h.

2.5. Horário de funcionamento dos equipamentos elétricos – Estabeleceu a utilização dos equipamentos da edificação durante o ano. A tabela 4.1 apresenta quais equipamentos foram utilizados nesta simulação, suas potências e seus consumos.

Tabela 4.1 – Equipamentos elétricos utilizados

Equipamentos	Consumo		
	W	h/dia	W/dia
Placa elétrica	2.500	0,50	1.250
Maquina de café	1.200	0,17	204
MLL	800	0,57	456
MLR	900	0,43	387
Ferro de engomar	1.250	0,43	538
Forno	2.500	0,43	1.075
Exaustor	1.200	0,50	600
Micro-ondas	100	0,14	140
Aspirador	1.250	0,43	538
Televisão	90	4,00	360
Sistema de som	20	1,00	30
Computador	250	3,00	750
Impressora	90	1,00	90
Secador	300	0,17	51
Frigorífico	140	1,00	140
Torradeira	500	0,17	85
Total	13.090	13,94	6.693

Após a definição do consumo diário dos equipamentos, foi possível programar sua utilização por meio da associação com o critério “Porcentagem” – limite de horário, nos moldes já definidos da ocupação da morada. Confira-se a tabela abaixo:

Tabela 4.2 – Cronograma de utilização dos equipamentos elétricos

Horário	Ocupação	Equipamentos (W)	Utilização
7h – 8h	100%	755	6%
8h – 13h	0%	140	1%
13h – 14h	75%	1.045	8%
14h – 17h	0%	140	1%
17h – 18h	75%	990	8%
18h – 21h	100%	2.000	15%
21h – 24h	100%	1.713	13%

2.6. Temperatura – Fixou a temperatura no interior do edifício para o ano todo. Sua programação foi definida por meio da associação com o critério “Temperatura” – limite de horário, nos termos a seguir:

- **T min:** firmou a temperatura mínima de 18°C no interior do edifício²⁴;
- **T max:** firmou a temperatura máxima de 25°C no interior do edifício²⁵.

2.7. Humidade relativa – À semelhança do item anterior, este objeto definiu a humidade relativa no interior do edifício para todo o ano. Sua programação foi definida pela associação ao critério HR – limite de horário, da seguinte maneira:

- **HR min:** estipulou a humidade mínima de 50% no interior do edifício;
- **HR max:** estipulou a humidade máxima de 65% no interior do edifício.

²⁴ Cfr. Despacho nº 15793-K (2013).

²⁵ Cfr. Portaria nº 349-B (2013).

2.8. A/C – O último objeto definido foi denominado A/C e refere-se ao controle do ar condicionado. Sua programação foi associada ao critério “Controle” – limite de horário, com o valor de 4 para o ano todo.

4.6 Elementos de construção da superfície

O grupo de objetos *Surface Construction Elements* permitiu especificar as soluções construtivas, suas propriedades físicas e configurações. Os elementos de construção – paredes, telhados, pisos, janelas e portas – foram definidos a partir dos parâmetros básicos de suas propriedades térmicas e de suas coordenadas geométricas no EnergyPlus. Especificamente, os objetos foram: materiais, vidros das janelas, gás interior e construção.

1. Materiais: Permitiu especificar os materiais de cada solução construtiva da edificação, com suas respectivas características físicas: nome, rugosidade, espessura, condutibilidade térmica, volume e calor específico.

Diversos materiais foram definidos para constituírem essa simulação: bloco cerâmico, betão armado, camada de forma, reboco interior e exterior.

A figura 4.8 apresenta alguns materiais que compuseram as soluções construtivas deste trabalho.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Bloco Cerâmico (15cm)	Bloco Cerâmico (11cm)	Placa de XPS (3cm)	Placa de XPS (4cm)	Betão Armado (25cm)	Betão Armado (10cm)	Camada de forma (10cm)
Roughness		Rough	Rough	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumRough
Thickness	m	0.15	0.11	0.03	0.04	0.25	0.1	.1
Conductivity	W/m-K	0.39	0.39	0.037	0.037	2	2	.85
Density	kg/m3	1200	1200	35	35	2300	2300	1500
Specific Heat	J/kg-K	837	837	1550	1550	1000	1000	800
Thermal Absorptance								
Solar Absorptance								
Visible Absorptance								

Figura 4.8 – IDF Editor – materiais

Tratando-se do foco do presente trabalho, o elemento construtivo reboco exterior representou o ponto mais importante desta avaliação numérica. Algumas de suas propriedades foram determinadas experimentalmente no capítulo 3, a qual descreve os processos realizados para a obtenção dos valores de condutibilidade térmica e massa volúmica de cada argamassa fabricada. Assim, nesta coluna foram introduzidos esses dados alcançados em laboratório, além dos valores de absortividade e reflexibilidade das pinturas preta e branca obtidos na literatura²⁶.

A figura 4.9 revela os diferentes tipos de reboco exterior presentes no estudo.

Field	Units	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14
Name		Reboco Interior (3cm)	Reboco Exterior CAA-PP (3cm)	Reboco Exterior CAA-PB (3cm)	Reboco Exterior CBA-PP (3cm)	Reboco Exterior CBA-PB (3cm)	Reboco Exterior CBAP-PP (3cm)	Reboco Exterior CBAP-PB (3cm)
Roughness		MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumRough
Thickness	m	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Conductivity	W/m-K	1.3	0.82	0.82	0.52	0.52	0.14	0.14
Density	kg/m3	1800	1775	1775	1420	1420	1119	1119
Specific Heat	J/kg-K	1046	1046	1046	1046	1046	1046	1046
Thermal Absorptance			0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance			0.97	0.2	0.97	0.2	0.97	.2
Visible Absorptance			0.1	0.75	0.1	0.75	0.1	.75

Figura 4.9 – IDF Editor – rebocos exteriores

²⁶ Cfr. NBR 15220-2 (2005).

2. Vidros das janelas: Neste objeto foram introduzidas as folhas de vidros utilizadas nas janelas da edificação. Os parâmetros para preenchimento deste campo eram vastos, merecendo destaque a espessura, a condutibilidade térmica, a emissividade e a refletividade.

A figura 4.10 apresenta as características da folha de vidro utilizada neste trabalho.

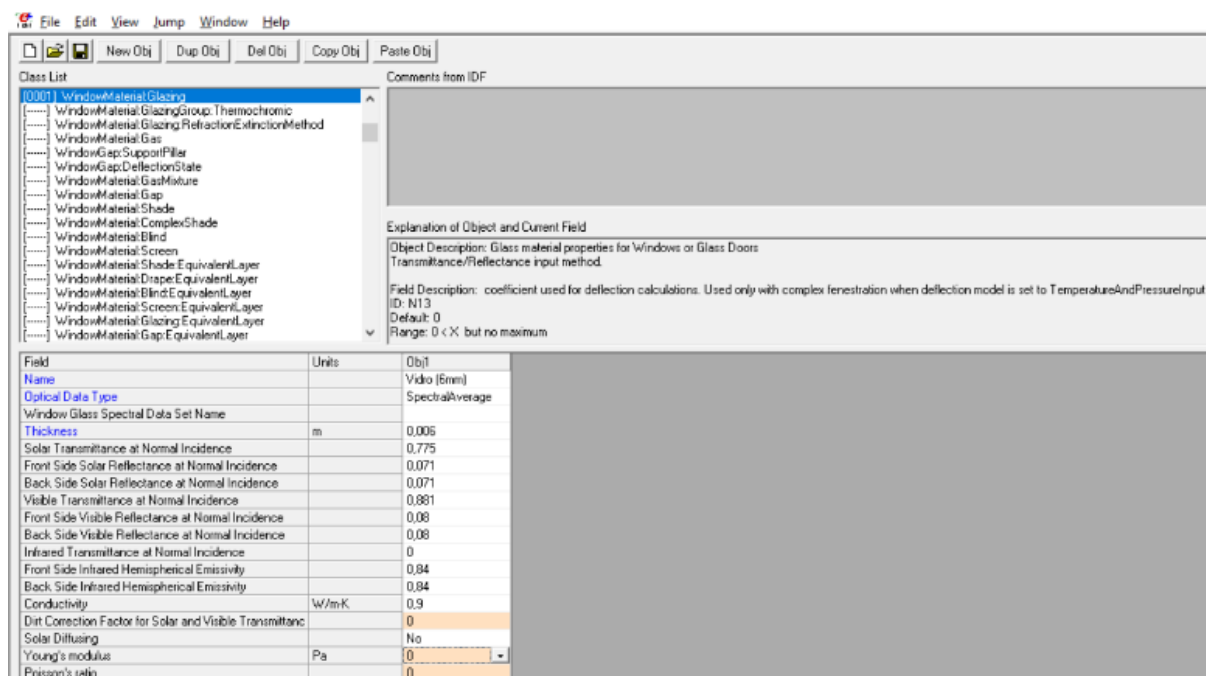


Figura 4.10 – IDF Editor – vidros

3. Gás interior das janelas: Como os vidros das janelas eram duplos, neste objeto foi estipulado o tipo de gás a ser utilizado nos seus interiores: Air, com uma espessura de 16mm.

4. Construção: Este objeto permitiu definir as soluções construtivas da edificação – paredes, cobertura, piso, lajes, janelas e portas. Para tanto, foram utilizados os materiais já especificados nos objetos anteriores e que contribuíam para a contabilização do coeficiente de transmissão térmica (U). A introdução de cada material seguiu uma ordem de camadas: do exterior para o interior.

Importante destacar este objeto foi decisivo para as simulações. É que cada simulação continha uma solução construtiva diferente (com um reboco exterior distinto na envolvente do edifício), a qual gerou seu próprio relatório. Isso possibilitou avaliar a influência das diferentes pinturas na eficiência energética da edificação. A título exemplificativo, apresenta-se uma das soluções construtivas definida (figura 4.11).

Ressalte-se também que cada solução construtiva deste trabalho foi determinada de acordo com as especificações do projeto do edifício disponibilizado pela faculdade. O detalhamento de cada solução encontra-se no Apêndice B. Já a apresentação e discussão dos resultados das avaliações numéricas estão no capítulo 6.

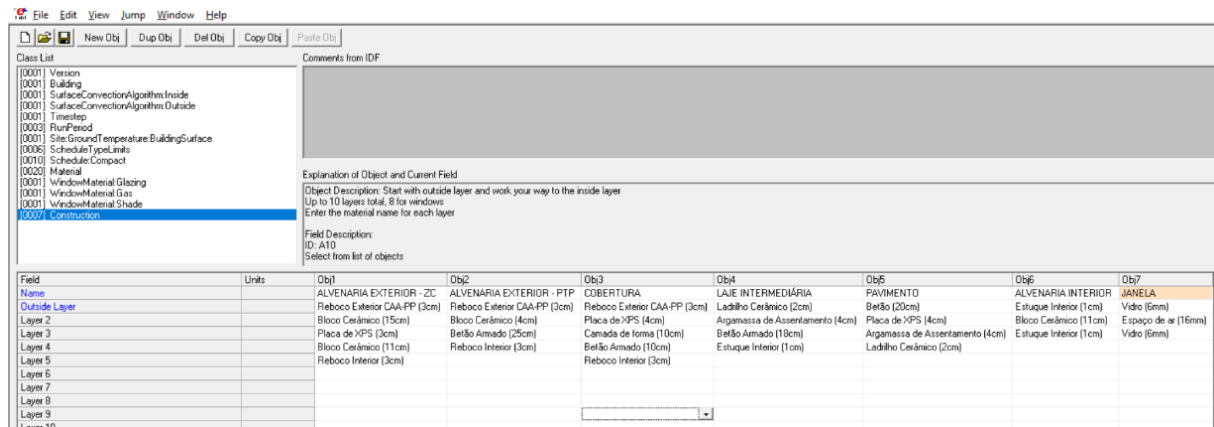


Figura 4.11 – IDF Editor – construção

4.7 Descrição e geometria das zonas térmicas

Este grupo de objetos, *Thermal Zones and Surfaces*, detalhou as características e a geometria de cada superfície (zona térmica) a ser modelada no EnergyPlus. Nomeadamente, Regras Geométricas Globais, Zonas Térmicas, Detalhamento das Superfícies do Edifício, Detalhamento das aberturas, Caixilharia e Massa Interior.

1. Regras Geométricas Globais: Objeto que especificou as regras da geometria das superfícies. Definiu que os vértices inferiores esquerdos de cada superfície seriam os pontos de partida (início) e os demais vértices seriam determinados seguindo o sentido anti-horário. Além disso, este objeto associou o sistema de coordenadas à zona térmica.

2. Zonas Térmicas: Neste objeto é possível configurar os parâmetros das diferentes zonas térmicas existentes em um edifício. Contudo, para este trabalho foi definida uma única zona térmica, a qual faz um ângulo de 0° com o Norte relativo e tem origem dos eixos em 0.

3. Detalhamento das Superfícies do Edifício: Objeto que permitiu definir a geometria do edifício, por meio da escolha de nome, tipo (parede, pavimento, teto ou cobertura), solução construtiva²⁷, zona térmica²⁸, condição de fronteira (exterior, interior, superfície, terreno etc.) e exposição ao sol e ao vento das superfícies.

Após, foram introduzidos o número de vértices (4) e as coordenadas das superfícies, que resultaram em um total de 60 elementos construtivos para o caso de estudo.

A figura 4.12 apresenta a definição geométrica de alguns desses elementos construtivos.

²⁷ Cfr. seção 4.6.

²⁸ Cfr. item II.

Field	Units	Obj52	Obj53	Obj54	Obj55	Obj56	Obj57	Obj58	Obj59
Name		Parede 2E10	Parede 2E11	Parede 2E12	Piso 1	Piso 2	Laje 1	Laje 2	Cobertura 1
Surface Type		Wall	Wall	Wall	Floor	Floor	Floor	Floor	Ceiling
Construction Name		ALVENARIA EXTERIOR - PTP	ALVENARIA EXTERIOR - ZC	ALVENARIA EXTERIOR - PTP	PAVIMENTO	PAVIMENTO	LAJE INTERMEDIÁRIA	LAJE INTERMEDIÁRIA	COBERTURA
Zone Name		ZONA FA	ZONA FA	ZONA FA	ZONA FA	ZONA FA	ZONA FA	ZONA FA	ZONA FA
Outside Boundary Condition		Outdoors	Outdoors	Outdoors	Ground	Ground	Zone	Zone	Outdoors
Outside Boundary Condition Object									
Sun Exposure		SunExposed	SunExposed	SunExposed	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	SunExposed
Wind Exposure		WindExposed	WindExposed	WindExposed	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	WindExposed
View Factor to Ground		0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	11,85	13,5	14	0	2	0	2	0
Vertex 1 Y-coordinate	m	10	10	10	5,5	10	5,5	10	0
Vertex 1 Z-coordinate	m	2,7	2,7	2,7	0	0	2,7	2,7	5,4
Vertex 2 X-coordinate	m	11,6	11,85	13,5	11,88	14	11,88	14	11,88
Vertex 2 Y-coordinate	m	10	10	10	5,5	10	5,5	10	0
Vertex 2 Z-coordinate	m	2,7	2,7	2,7	0	0	2,7	2,7	5,4
Vertex 3 X-coordinate	m	11,6	11,85	13,5	11,88	14	11,88	14	11,88
Vertex 3 Y-coordinate	m	10	10	10	0	5,5	0	5,5	10
Vertex 3 Z-coordinate	m	5,4	5,4	5,4	0	0	2,7	2,7	5,4
Vertex 4 X-coordinate	m	11,85	13,5	14	0	2	0	2	0
Vertex 4 Y-coordinate	m	10	10	10	0	5,5	0	5,5	10
Vertex 4 Z-coordinate	m	5,4	5,4	5,4	0	0	2,7	2,7	5,4
Vertex 5 X-coordinate	m								
Vertex 5 Y-coordinate	m								
Vertex 5 Z-coordinate	m								
Vertex 6 X-coordinate	m								
Vertex 6 Y-coordinate	m								
Vertex 6 Z-coordinate	m								

Figura 4.12 – IDF Editor – detalhamento das superfícies

4. Detalhamento das aberturas: Neste objeto foram definidas as posições geométricas de abertura das janelas e portas de vidro. Além disso, foi escolhido o tipo de suas superfícies, suas soluções construtivas e o elemento construtivo²⁹ onde foram inseridas. Após, foi introduzido o número de vértices e suas respectivas coordenadas. No fim, foi definido um total de 8 janelas e portas para a edificação. A figura 4.13 apresenta a definição geométrica de abertura de alguns elementos construtivos.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Envidraçado N1	Envidraçado N2	Janela 2N1	Janela 2N2	Envidraçado S1	Envidraçado S2	Janela 2S1	Janela 2S2
Surface Type		GlassDoor	GlassDoor	Window	Window	GlassDoor	GlassDoor	Window	Window
Construction Name		JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA
Building Surface Name		Parede N1	Parede N2	Parede 2N1	Parede 2N2	Parede S1	Parede S2	Parede 2S1	Parede 2S2
Outside Boundary Condition Object									
View Factor to Ground		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Shading Control Name									
Frame and Divider Name		Caixilharia	Caixilharia	Caixilharia	Caixilharia	Caixilharia	Caixilharia	Caixilharia	Caixilharia
Multiplier		1	1	1	1	1	1	1	1
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	0	2	0	2	11,88	14	11,88	14
Vertex 1 Y-coordinate	m	5,15	9,05	5,15	7,5	0,35	5,5	2	5,85
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	0	3,1	3,1	0	0	3,1	3,1
Vertex 2 X-coordinate	m	0	2	0	2	11,88	14	11,88	14
Vertex 2 Y-coordinate	m	0,35	6,25	3,15	5,5	5,5	9,65	4	7,5
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0	3,1	3,1	0	0	3,1	3,1
Vertex 3 X-coordinate	m	0	2	0	2	11,88	14	11,88	14
Vertex 3 Y-coordinate	m	0,35	6,25	3,15	5,5	5,5	9,65	4	7,5
Vertex 3 Z-coordinate	m	2,7	2,7	5,1	5,1	2,7	2,7	5,1	5,1
Vertex 4 X-coordinate	m	0	2	0	2	11,88	14	11,88	14
Vertex 4 Y-coordinate	m	5,15	9,05	5,15	7,5	0,35	5,5	2	5,85
Vertex 4 Z-coordinate	m	2,7	2,7	5,1	5,1	2,7	2,7	5,1	5,1

Figura 4.13 – IDF Editor – portas e janelas de vidro

5. Caixilharia: Especificou uma caixilharia a ser associada às janelas da edificação: em PVC, com 10 cm de largura e coeficiente de transmissão térmica $U = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

6. Massa interior: Detalhou a área das paredes interiores³⁰, de 296.60 m², e a solução construtiva associada a essas paredes. Por meio destes parâmetros, o próprio software realizou o cálculo da massa interior.

4.8 Ganhos internos

Este grupo de objetos, *Internals Gains*, permitiu associar outros ganhos internos que poderiam influenciar o consumo de energia do edifício. Foram eles: pessoas, iluminação e equipamentos elétricos.

²⁹ Cfr. seção 4.6.

³⁰ Cfr. plantas do Anexo B.

1. Pessoas: Neste objeto, foi possível determinar os ganhos relativos ao calor produzido pelos 4 habitantes do edifício, proveniente dos seus metabolismos. Para tanto, considerou-se que cada pessoa emite uma fração radiante de 70%. O objeto foi, ainda, associado às agendas “Ocupação” e “Atividade”³¹, para definir os horários e a quantidade de calor produzida pelos ocupantes do imóvel.

A figura 4.14 apresenta o objeto “People” definido na presente simulação.

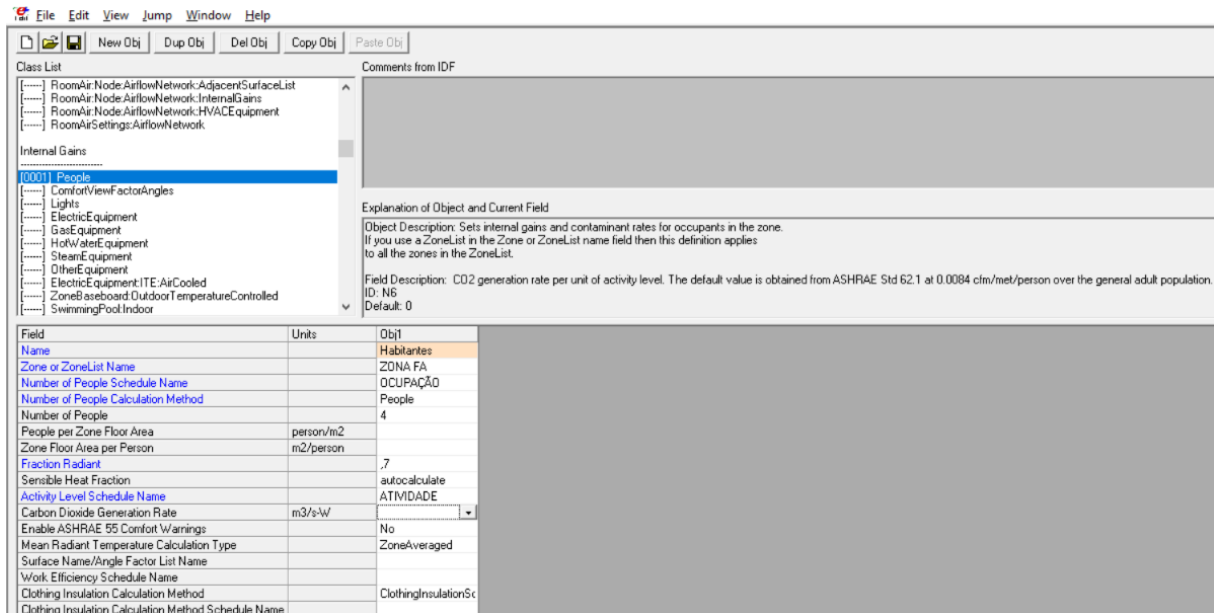


Figura 4.14 – IDF Editor – pessoas

2. Iluminação: Por meio deste objeto foi possível determinar os ganhos relativos ao calor produzido pela iluminação no interior do edifício. Neste trabalho, foram escolhidas lâmpadas do tipo suspensas, com uma potência média de 5W/m² de área do edifício, as quais desprendiam uma fração de retorno no ar igual a 0; uma fração radiante de 0,42; e uma fração visível de 0,18.

A agenda “Iluminação”³² foi associada a este objeto, a fim de estabelecer os horários em que os ganhos térmicos emitidos pelas aludidas lâmpadas seriam contabilizados no interior do imóvel. A figura 4.15 ilustra o campo iluminação.

3. Equipamentos elétricos: Determinou os ganhos relativos ao calor produzidos pelos equipamentos elétricos no interior do edifício. Os equipamentos anteriormente estipulados³³ tiveram seus gastos médios arbitrados no valor de 112 W/m² de área do edifício, com uma fração radiante de 0,3. Tais valores foram assim considerados e contabilizados durante todo o ano.

Também foi associada a este objeto a agenda “Equipamentos”³⁴, com o escopo de estabelecer os horários em que esses ganhos térmicos seriam computados no interior da unidade estudada. A figura 4.16 ilustra o campo equipamentos.

³¹ Cfr. seção 4.5.

³² Cfr. seção 4.5.

³³ Cfr. seção 4.5.

³⁴ Cfr. seção 4.5.

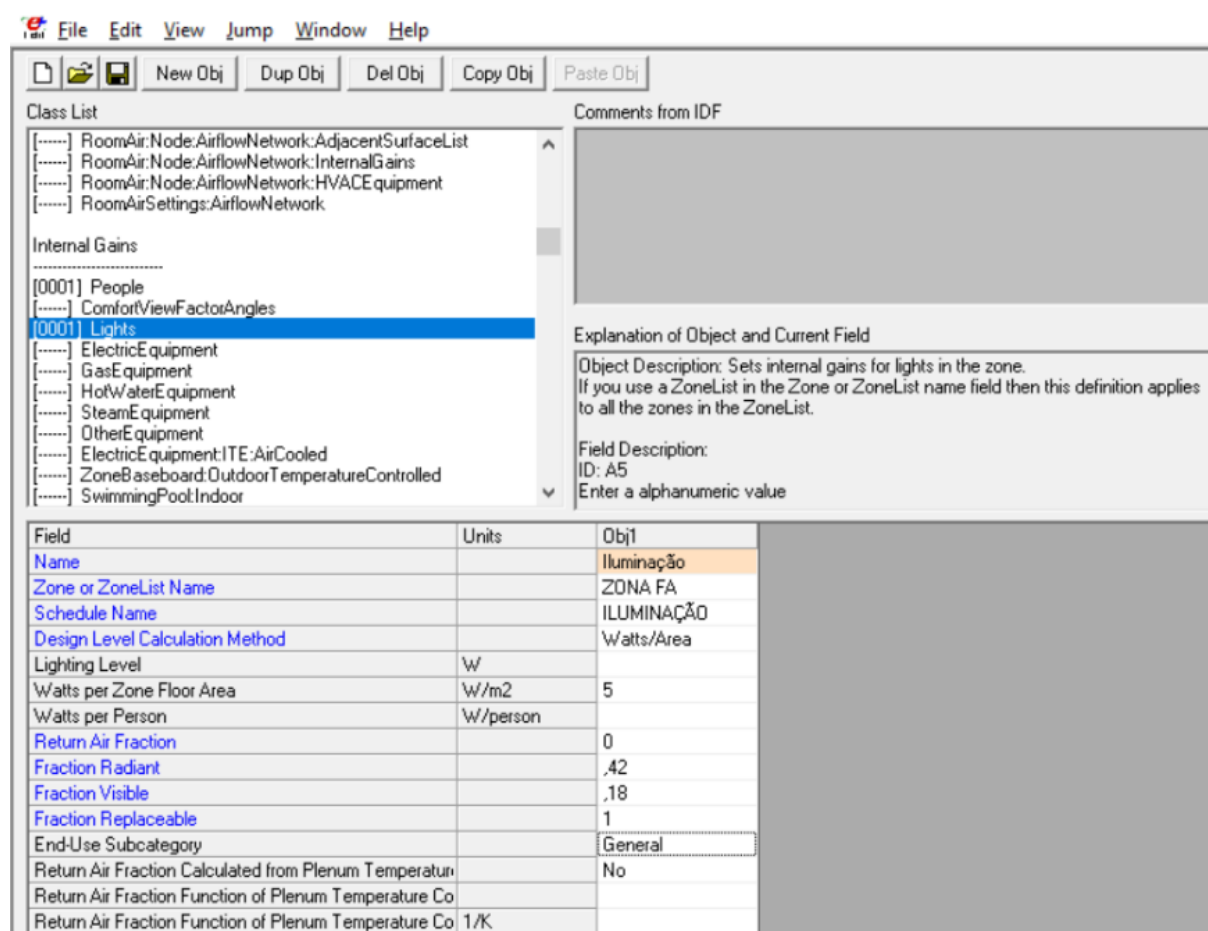


Figura 4.15 – IDF Editor – luzes

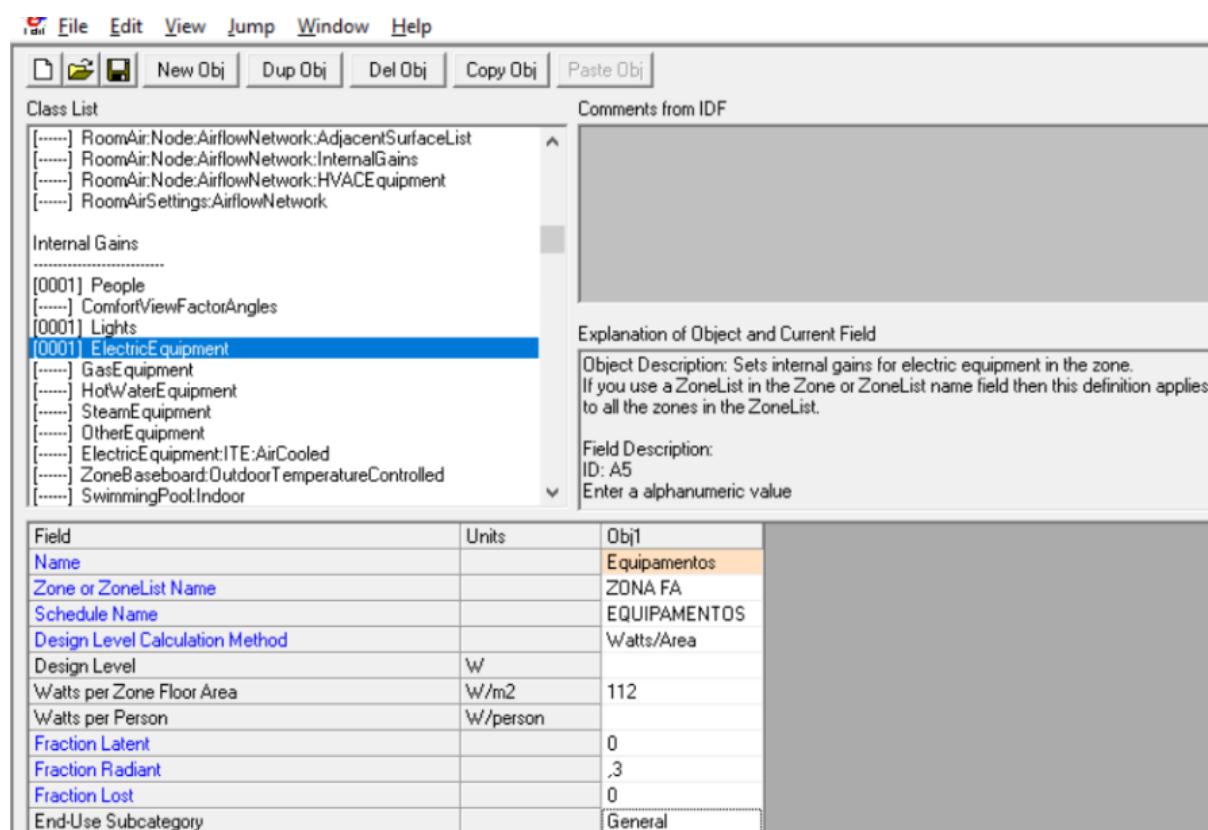


Figura 4.16 – IDF Editor – equipamentos elétricos

4.9 Fluxo de ar

Esta classe, *Zone Airflow*, permitiu introduzir os dados relativos ao fluxo de ar na zona térmica, em função da ventilação natural ou ventilação mecânica. No particular, foi composta por um único objeto, qual seja, Taxa de circulação do ar, relativa à circulação do ar dentro da zona térmica. No caso em apreço, a taxa foi fixada em 0,6 renovações por hora³⁵. Foi ainda realizada uma associação do aludido objeto à agenda “Ventilação”³⁶, a fim de estabelecer a ausência de variações dessa taxa durante o dia. A figura 4.17 demonstra as definições relativas a esta secção.

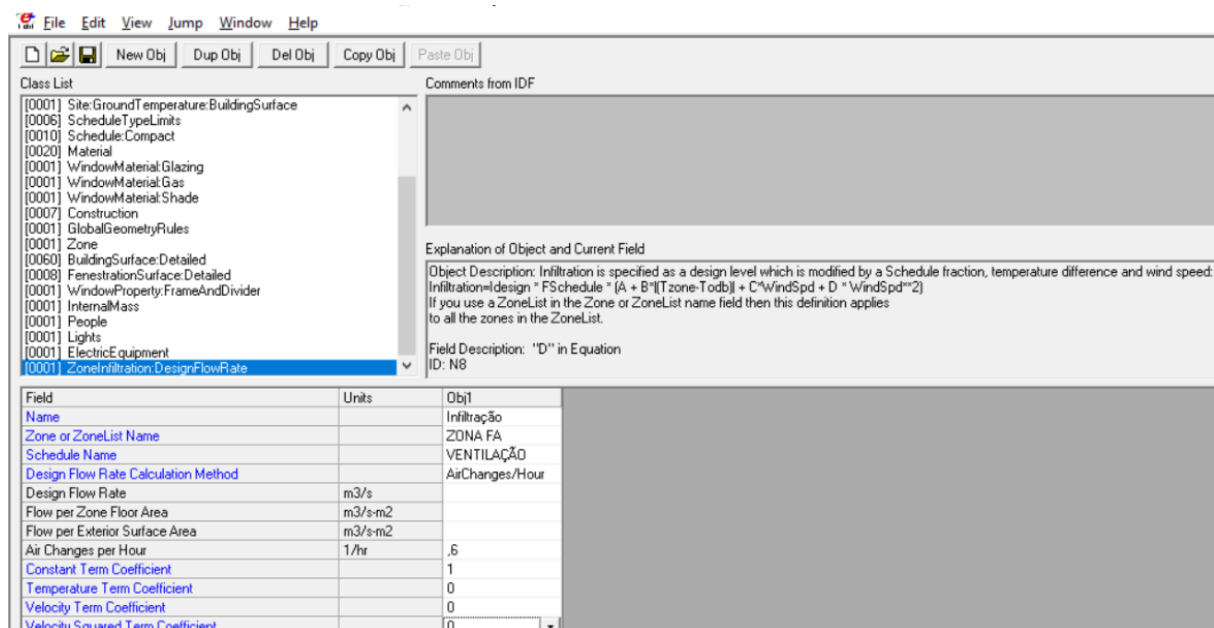


Figura 4.17 – IDF Editor – equipamento fictício

4.10 Controle das zonas térmicas: AVAC e termostatos

Este grupo de objetos, *Zone AVAC Controls and Thermostats*, possibilitou o controle de temperatura e humidade no interior da edificação. Os componentes deste grupo foram: Controle da Humidade Relativa, Controle de Temperatura e Duplo Referencial de Temperatura.

1. Controle da humidade relativa: Neste objeto, foi definido um equipamento fictício para controlar a humidade relativa na habitação. Para isso, indicou-se a zona térmica e o objeto foi associado à agenda “HR min” e “HR max”³⁷ para estabelecer os valores mínimos e máximos de humidade relativa.

2. Controle de temperatura: À semelhança do objeto anterior, definiu um equipamento fictício para controlar a temperatura no interior da habitação. Também foi indicada a zona térmica e realizada

³⁵ Cfr. Portaria nº 349-B (2013).

³⁶ Cfr. seção 4.5.

³⁷ Cfr. seção 4.5.

uma associação com as agendas “A/C”³⁸ e “Temperatura”³⁹, a fim de estabelecer os horários e valores mínimos e máximos de temperatura na zona.

3. Duplo referencial de temperatura: Este objeto estabeleceu um termóstato com dois referenciais de temperatura, um para aquecimento e outro para arrefecimento. Após, foram associadas as agendas “Temperatura min” e “Temperatura máx”⁴⁰ aos referenciais de aquecimento e de arrefecimento, respectivamente.

4.11 Circuitos de ar forçados

Esta classe de objetos, *Zone HVAC Forced Air Units*, permitiu definir os parâmetros de um equipamento fictício de circulação de ar para aquecimento e arrefecimento das zonas térmicas. Neste trabalho, apresentou apenas um objeto: Circuito de ar ideal, por meio do qual o equipamento fictício desenvolvido manteve os limites de temperatura da habitação com 100% de eficiência.

A figura 4.18 apresenta o equipamento fictício definido.

Field	Units	Obj
Name		A/C Fictício
Availability Schedule Name		A/C
Zone Supply Air Node Name		N01
Zone Exhaust Air Node Name		N04
Maximum Heating Supply Air Temperature	C	50
Minimum Cooling Supply Air Temperature	C	13
Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio	kgW/ater/kgDryA	0,0156
Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio	kgW/ater/kgDryA	0,0077
Heating Limit		NoLimit
Maximum Heating Air Flow Rate	m3/s	
Maximum Sensible Heating Capacity	W	
Cooling Limit		NoLimit
Maximum Cooling Air Flow Rate	m3/s	
Maximum Total Cooling Capacity	W	
Heating Availability Schedule Name		
Cooling Availability Schedule Name		
Dehumidification Control Type		ConstantSensibleHe
Cooling Sensible Heat Ratio	dimensionless	0,7
Humidification Control Type		None
Design Specification Outdoor Air Object Name		
Outdoor Air Inlet Node Name		
Demand Controlled Ventilation Type		None
Outdoor Air Economizer Type		NoEconomizer
Heat Recovery Type		None
Sensible Heat Recovery Effectiveness	dimensionless	0,7
Latent Heat Recovery Effectiveness	dimensionless	0,65
Design Specification ZoneHVAC Sizing Object Name		

Figura 4.18 – Equipamento fictício

4.12 Conexões do equipamento fictício

Este grupo de objetos, *Zone HVAC Equipments Connections*, permitiu definir as conexões do equipamento fictício de circulação de ar criado para aquecimento e arrefecimento da zona térmica. Foi composto por Lista de equipamentos e Conexões, a seguir descritos.

³⁸ Cfr. seção 4.5.

³⁹ Cfr. seção 4.5.

⁴⁰ Cfr. seção 4.5.

1. Lista de equipamentos: Objeto que definiu os equipamentos existentes na zona térmica.

A figura 4.19 apresenta a lista de equipamentos definida.

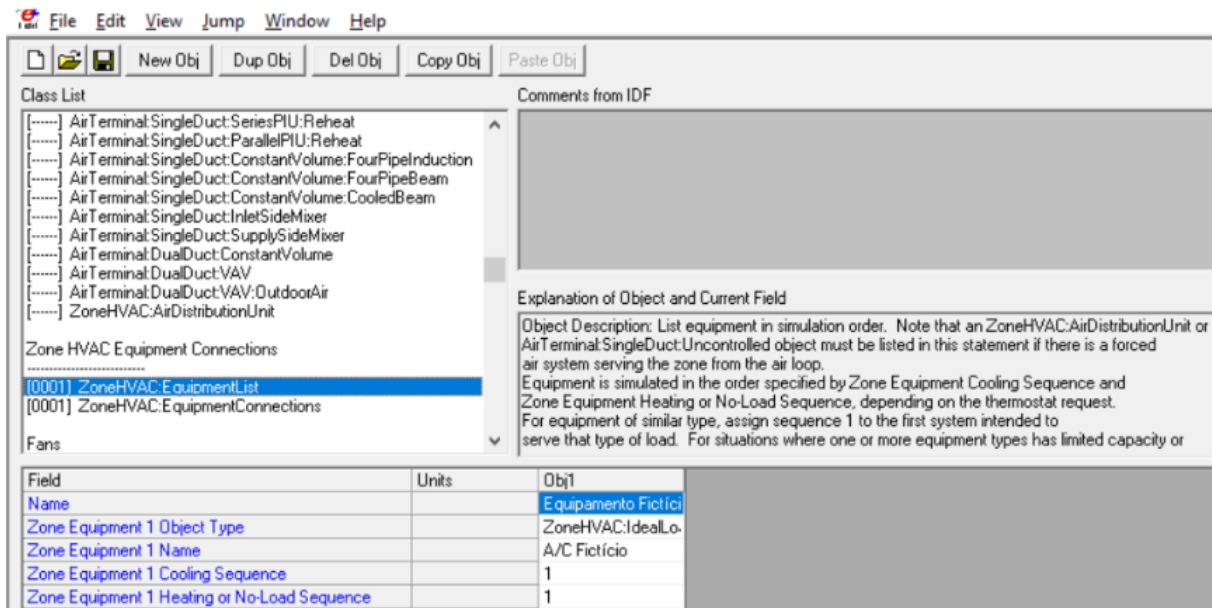


Figura 4.19 – IDF Editor – lista de equipamentos

2. Conexões: Objeto que estabeleceu as conexões dos equipamentos existentes na zona térmica e as suas ligações.

A figura 4.20 apresenta a lista de conexões definida.

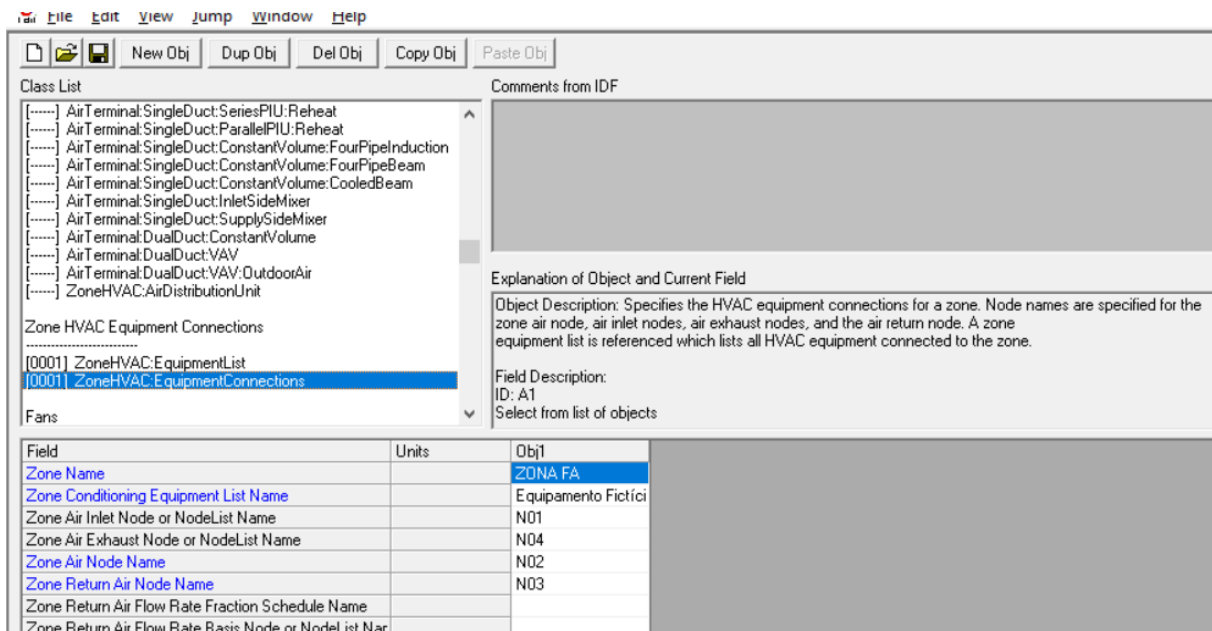


Figura 4.20 – IDF Editor – lista de conexões

4.13 Relatórios de simulação

O presente grupo de objetos, *Output Reporting*, permitiu escolher as variáveis de resultado da simulação. Designadamente foram: Dicionário de variáveis, Desenho da superfície, Lista de relatórios, Estilo da lista de relatórios, Lista de variáveis e Diagnósticos.

1. Dicionário de variáveis: Definiu que o programa disponibilizaria um relatório de resultados em arquivo IDF.

2. Desenho da superfície: Estabeleceu que o programa forneceria uma planta das superfícies do edifício em arquivo DXF.

3. Lista de relatórios: Dentre os possíveis relatórios disponíveis na pré-lista, neste objeto, optou-se pelo *AllSummary*.

4. Estilo da lista de relatórios: Determinou o que o programa disponibilizaria os relatórios em arquivo HTML.

5. Lista de variáveis: Neste objeto, escolheu-se, na extensa lista de variáveis disponíveis no programa, aquelas que interessavam ao escopo do presente trabalho:

- *Zone Ideal Loads Air Total Heating Energy* - Necessidades energéticas de aquecimento
- *Zone Ideal Loads Air Total Cooling Energy* - Necessidades energéticas de arrefecimento
- *Zone Surface Inside Face Conduction Heat Loss Rate* - Perdas térmicas referentes à condução de calor pela envolvente opaca
- *Zone Window Heat Loss Rate* - Perdas térmicas associados aos vãos envidraçados
- *Zone Window Heat Gain Rate* – Ganhos térmicos associados aos vãos envidraçados
- *Zone Mean Air Temperature* - Temperatura média do ar no interior da zona
- *Temperature Outdoor Dry Bulb* - Temperatura de bulbo seco exterior

6. Diagnósticos: Neste campo havia a opção de produzir mensagens de alerta para os casos de erro na simulação. No particular, foram definidos dois campos:

- *Display Advanced Report Variables* – Mensagens de erro
- *Display Extra Warnings* – Mensagens de aviso

5 Apresentação e discussão dos resultados experimentais

5.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, são expostos e analisados os dados obtidos nos ensaios referidos no capítulo 3. Também são objeto de discussão alguns resultados diferentes daqueles inicialmente esperados.

São, portanto, alvo de discussão os dados provenientes da caracterização dos materiais constituintes das argamassas, os resultados obtidos na caracterização das argamassas no estado fresco, bem como os resultados da caracterização das argamassas no estado endurecido, com ênfase nos ensaios realizados sobre os sistemas de pintura.

Ressalte-se que os resultados provenientes das simulações numéricas estão discutidos no capítulo 6.

5.2 Resultados de caracterização dos materiais constituintes

5.2.1 Análise granulométrica dos agregados

Conforme já consignado, no que concerne aos ensaios de análise granulométrica para os 2 tipos de agregados (areia e resíduos)⁴¹, foi possível determinar suas curvas granulométricas e o módulo de finura (MF).

A figura 5.1 apresenta, pois, as curvas granulométricas da areia e dos resíduos de madeira, bem como o módulo de finura calculados.

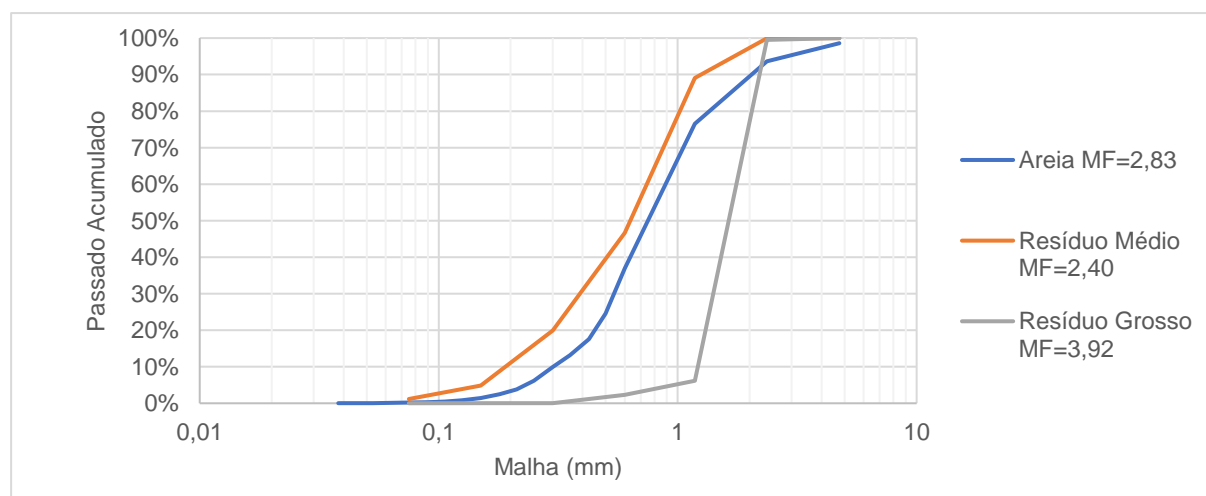


Figura 5.1 – Curvas granulométricas

⁴¹ Os procedimentos devidamente descritos na seção 3.3.1.

Tabela 5.1 – Módulo de finura e percentagem de resíduos utilizados

Agregado	MF	%M
Areia	2,83	–
Resíduos médios	2,40	38,0%
Resíduos grossos	3,92	62,0%

Da figura, constata-se que a curva granulométrica da areia é bem alargada. Isso somado à dimensão angular de seus grãos, proporciona uma menor porosidade para a argamassa e, por conseguinte, uma melhor resistência mecânica. Ainda sobre a sua curva granulométrica, ela está posicionada entre as dos resíduos médio (material retido até o peneiro nº 70) e grosso (material retido até o peneiro nº 30).

Tal informação, cumulada com os dados do MF, forneceu, por meio das equações 13 e 14, os percentuais necessários para a substituição da massa de areia por massa de cada tipo de resíduos de madeira, na proporção adequada para a manutenção de uma granulometria compatível àquela da areia.

5.2.2 Baridade

A baridade foi utilizada para determinar a quantidade de material, em massa, a ser utilizada na dosagem das argamassas. Quanto aos ensaios de baridade, nos ligantes e agregados, necessários para fabricar as argamassas⁴², os resultados foram analisados por tipo de constituintes e encontram-se na tabela abaixo:

Tabela 5.2 – Resultados de baridade

	Material	Baridade (Mg/m3)
Ligantes	Arg CEM BR	1,67
	Cal aérea	0,46
Agregados	Areia	1,52
	Resíduo de madeira	0,54

Em relação aos ligantes, do comparativo, nota-se que há uma diferença substancial entre os valores de baridade, na proporção de quase 1:4. Em outras palavras, para um mesmo volume de argamassa, será necessária uma quantidade, em massa, muito maior de argamassa de cimento branco do que de cal aérea. De igual maneira, no que concerne aos agregados, observa-se a mesma disparidade: a baridade dos resíduos é substancialmente menor do que a da areia, na proporção de 1:3. Assim, em casos de substituição de areia por resíduos, será preciso uma quantidade, em massa, muito inferior de resíduos do que o seria de areia, para a produção de um mesmo volume de argamassa de cimento branco. Conclui-se, então, que haverá diferenças nas massas volúmicas das argamassas a depender do ligante ou agregado escolhido.

Por outro lado, tamanhas discrepâncias não são suficientes para afirmar que necessariamente a massa volúmica da argamassa de cimento será maior que a de cal ou que a massa volúmica de uma

⁴² Os procedimentos adotados foram devidamente mencionados em 3.3.2.

argamassa de cimento branco com areia será maior ou menor devido a presença de resíduos de madeira. Afirmações mais definitivas acerca do ponto somente puderam ser alcançadas após fabricação e experimentos em cada tipo de argamassa⁴³.

5.3 Resultados de caracterização das argamassas

A seguir, estão discutidos os resultados dos ensaios de consistência por espalhamento, resistência mecânica, porosidade e massa volúmica, bem como condutibilidade térmica. Os valores alcançados nestes experimentos, principalmente os de massa volúmica e os de condutibilidade térmica, foram alguns dos mais relevantes da campanha experimental, pois tornaram-se dados para a alimentação do programa de simulação numérica, o qual avaliou a eficiência energética no edifício modelo.

5.3.1 Consistência por espalhamento

Os resultados dos ensaios de consistência por espalhamento e relação água/ligante nas três argamassas fabricadas⁴⁴ encontram-se na tabela abaixo:

Tabela 5.3 – Resultados de consistência e relação A/L

Tipo	Espalhamento	Relação A/L
Argamassa CAA	81,3%	1,81
Argamassa CBA	90,0%	0,40
Argamassa CBAP	60,5%	0,49

Inicialmente, vale destacar que os valores esperados, para a relação A/L, eram de 0,5 para a argamassa com cimento branco e 2 para a cal aérea e, para o espalhamento, eram de 70%±10%, segundo a norma BS EN 1015-3 (1999).

Observando os números obtidos, constata-se que os valores de espalhamento para as argamassas de cal aérea/areia e cimento branco/areia foram superiores a 80%, apesar de a relação A/L estar menor que o esperado. Acredita-se que o ocorrido se deve à ação do superplastificante adicionado justamente para aumentar a trabalhabilidade das argamassas.

Já no caso da argamassa de desempenho térmico melhorado, a situação foi diferente: foi necessário introduzir mais água, a relação A/L ficou mais próxima do desejado e a percentagem de espalhamento ficou dentro das especificações normativas, embora baixa. Nesse caso, a substituição da areia por resíduos de madeira, por si só, já diminui a trabalhabilidade da argamassa. Mais além, quanto maior a proporção de resíduos, menor a fluidez da argamassa. Tal fato se explica pela absorção precoce da água pela madeira, já nos primeiros instantes da fabricação da argamassa. Apesar de

⁴³ Cfr. seção 5.4.2.

⁴⁴ Os procedimentos adotados foram devidamente mencionados em 3.5.1.1.

posteriormente liberar essa água, a “monopolização” imediata da água pela madeira prejudica a consistência da argamassa⁴⁵.

Outra diferença relevante entre as argamassas é que a CAA absorve mais água que a CBA. Isso ocorre porque a água inserida em argamassas de cal aérea não reage do mesmo jeito que nas argamassas hidráulicas. Como não há consumo de água na reação do ligante, há mais oferta de água para absorção pela própria argamassa CAA. Ademais, a argamassa CAA registou a maior retração inicial, já que, quanto mais água, maior a retração (Vargas, 2013; Dias, 2013).

5.3.2 Resistência mecânica

Os resultados dos ensaios de resistência mecânica à flexão e à compressão nas três argamassas fabricadas⁴⁶ encontram-se abaixo:

Tabela 5.4 – Resultados dos ensaios de resistência mecânica

Tipo	Idade (dias)	Rt (MPa)	DP (MPa)	Rc (MPa)	DP (MPa)
Argamassa CAA	132	0,3	0,14	1,0	0,03
Argamassa CBA	133	0,3	0,01	0,5	0,10
Argamassa CBAP	104	0,2	0,01	0,3	0,03

A tabela retrata a idade de rompimento dos provetes, a média dos valores das resistências mecânicas alcançadas (Rt e Rc), seguidas dos respectivos desvios padrão (DP). Embora o ensaio tenha ocorrido no mesmo dia, há de se considerar a diferença de idade apresentada entre as argamassas. A argamassa de CBAP apresentava-se numa idade mais nova que as demais, devido à necessidade de nova fabricação em função do traço inicialmente insatisfatório.

Quanto aos valores de resistência à tração e à compressão, a figura 5.2 ilustra os resultados:

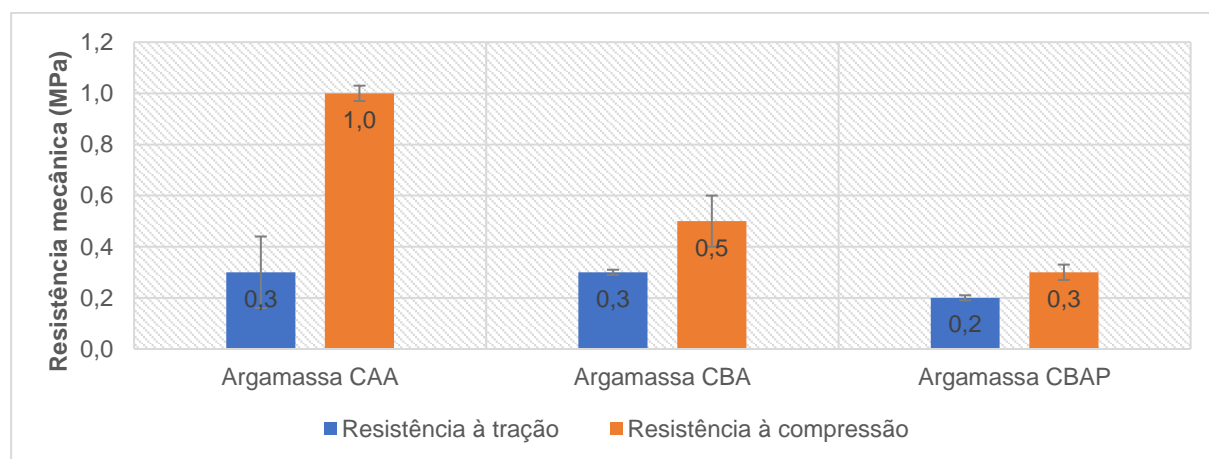


Figura 5.2 – Valores de resistência mecânica das argamassas

⁴⁵ A adição de resíduos de madeira nas argamassas causa uma redução na sua trabalhabilidade, que, portanto, varia em razão da percentagem de resíduos. Destarte, é possível afirmar que as argamassas perdem consistência, na medida em que o acréscimo de resíduos provoca uma absorção inicial de água, mas uma posterior liberação do líquido, sem benefícios para a trabalhabilidade do revestimento (Martinho, 2017).

⁴⁶ Os procedimentos adotados foram devidamente mencionados em 5.5.2.1 e 5.5.2.2.

Da figura, nota-se que a argamassa de cal aérea apresentou valores de resistência mecânica maiores que as argamassas de cimento. Esses resultados não eram esperados, já que as argamassas com ligantes de cimento costumam ter propriedades de resistência mecânica melhores que as demais. A utilização de um produto pré-doseado para as argamassas de cimento branco com adição de três partes de areia tornou as argamassas de CBA e CBAP mais fracas. Apesar disso, as argamassas sem resíduos de madeira apresentam resistência mecânica suficientes para serem utilizadas como argamassas para reboco exterior⁴⁷ (Veiga et al., 2010).

Quanto à argamassa CBAP, os resultados também não cumpriram com as expectativas. A substituição do agregado por resíduos de madeira tornou a argamassa mais fraca, a ponto de não alcançar os valores normativos de resistência à compressão.⁴⁸ Não se olvide que a diminuição da resistência mecânica nesse tipo de argamassas é diretamente proporcional à quantidade de resíduos incorporada. Assim, um resultado mais fraco era esperado, apesar da mudança de traço, porém não abaixo dos mínimos normativos.

5.3.3 Porosidade aberta e massa volúmica

Os resultados dos ensaios de porosidade aberta e massa volúmica nos três semi-prismas provenientes do ensaio de resistência mecânica à tração para as três argamassas fabricadas⁴⁹ encontram-se no gráfico abaixo:

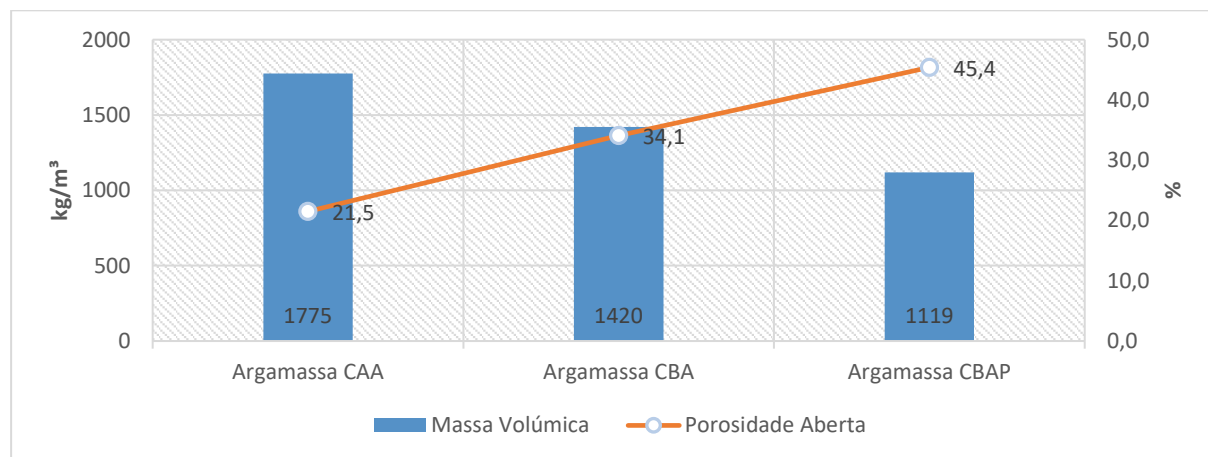


Figura 5.3 – Valores de porosidade aberta e massa volúmica das argamassas

Ao analisar a figura 5.3, constata-se que, apesar de o valor da baridade da cal aérea ser cerca da metade do valor da baridade do cimento, a argamassa CAA é a que possui a maior massa volúmica dos compósitos. Fazendo uma correlação entre porosidade aberta e massa volúmica, nota-se que a variação entre elas é inversamente proporcional, ou seja, as argamassas com as maiores percentagens de poros abertos possuem os menores valores de massa volúmica e vice e versa. Em regra, o volume

⁴⁷ Argamassas de reboco exterior: Rt de 0,2 a 0,7; Rc de 0,4 a 2,5 (Veiga, 2010).

⁴⁸ Cfr. NP EN 998-1 (2010): CS-I - Rc de 0,4 a 2,5 Mpa.

⁴⁹ Os procedimentos adotados foram devidamente mencionados em 3.5.2.3.

dos poros é ocupado por uma quantidade de ar/água as quais possuem densidade inferior à densidade da argamassa.

Especificamente quanto à porosidade aberta, a argamassa CBAP é a que apresenta a maior percentagem de poros dos compósitos. Martinho (2017), em sua análise do comportamento das argamassas com incorporação de resíduos de madeira, afirma que um acréscimo de resíduos nas argamassas provoca um aumento na sua quantidade de vazios. Em outras palavras, o incremento da percentagem de poros é atribuído à quantidade de madeira adicionada à mistura.

A seguir, foi verificado se o aumento da quantidade de madeira e vazios na argamassa CBAP auxiliou ou não em suas propriedades térmicas.

5.3.4 Condutibilidade térmica

Os resultados dos ensaios de condutibilidade térmica nos nove provetes tipo 2 ⁵⁰ encontram-se no gráfico da figura 5.4.

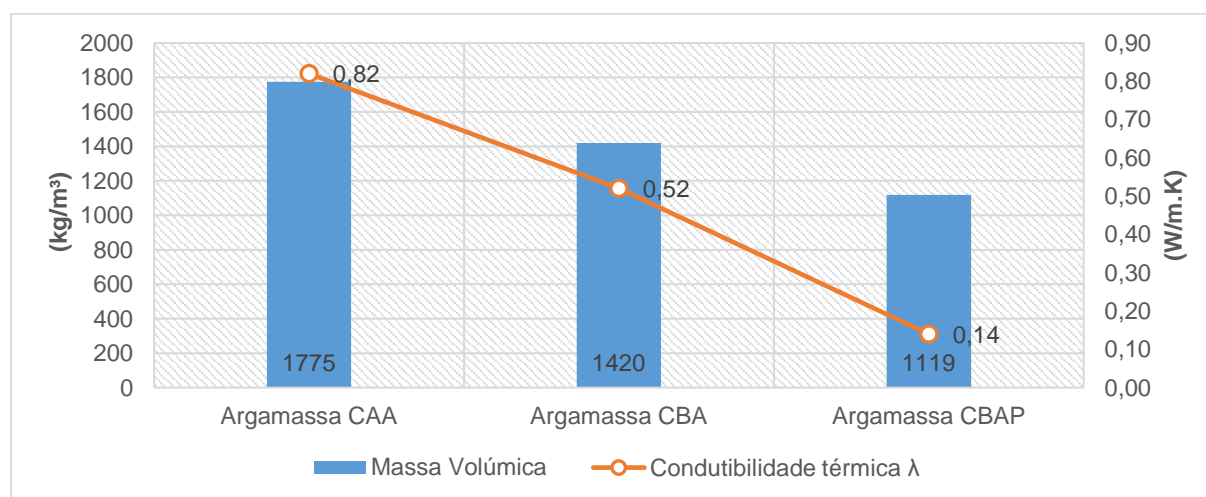


Figura 5.4 – Valores de massa volúmica e condutibilidade térmica das argamassas

Ao observar os resultados, constata-se que a condutibilidade térmica está diretamente relacionada com a massa volúmica das argamassas, na medida que as argamassas que possuem menor massa volúmica possuem também as menores taxas de condutibilidade térmica. Uma das razões para que isso ocorra é a maior percentagem de vazios no interior dessas argamassas, porquanto, em termos gerais, um material é um tanto mais isolante térmico quanto maior for a sua porosidade (Henriques, 2016).

Quando comparado aos resultados esperados (tabela 5.4), observa-se que, à exceção da argamassa de cal aérea, os valores de λ para as argamassas de cimento ficaram abaixo da média dos valores disponibilizados pelo LNEC (Santos e Matias, 2006) (tabela 5.4). Uma dessas razões está nos procedimentos adotados na execução do ensaio, os quais garantiram um menor teor de água no interior

⁵⁰ Os procedimentos adotados foram devidamente mencionados em 3.5.2.4.

das argamassas. Isso é uma justificativa plausível, já que a condutibilidade térmica da água é 24 vezes superior à condutibilidade do ar (Henriques, 2016).

Tabela 5.5 – Comparação entre os resultados massa volúmica e condutibilidade térmica para argamassas de cimento ou cal: ITE50 e este trabalho

Argamassas de cimento ou cal para rebocos (ITE50)			Argamassas de cimento ou cal deste trabalho		
Tipo	Massa volúmica (kg/m ³)	λ (W/m.K)	Tipo	Massa volúmica (kg/m ³)	λ (W/m.K)
Reboco de cal e areia	1.600	0,80	Argamassa CAA	1.775	0,82
Reboco não tradicional	1.250 – 1.450	0,70	Argamassa CBA	1.420	0,52
Reboco não tradicional	1.000 – 1.250	0,55	Argamassa CBAP	1.119	0,14

Não há dúvidas de que a introdução de resíduos de madeira na constituição da argamassa CBAP provocou uma diminuição significativa na condutibilidade térmica dessa argamassa ($\lambda=0,14$ W/m.K). Para além dos fatores já mencionados, de maior percentual de poros e menor massa volúmica, outro motivo relevante para o ocorrido é o reduzido valor de condutibilidade térmica da madeira. Ressalte-se que, enquanto a condutibilidade térmica da madeira varia em torno de 0,15 W/m.K, a da areia ronda 2,0 W/m.K (Santos e Matias, 2006).

Outros autores, com metodologias de trabalho análogas, obtiveram resultados semelhantes: Martinho (Martinho, 2017) utilizou várias percentagens de resíduos de madeira em argamassas de cimento comum e obteve o valor de $\lambda= 0,65$ W/m.K para uma substituição de 40%; Silva (2017) também utilizou o mesmo caminho em argamassas de cal hidráulica e obteve o valor de $\lambda= 0,12$ W/m.K para uma substituição de 23%.

5.4 Resultado dos ensaios realizados nas argamassas e acabamentos

5.4.1 Coesão superficial

Neste trabalho, foram realizados ensaios de coesão superficial em três provetes tipo 3⁵¹ e os resultados encontra-se no gráfico 5.5:

⁵¹ Os procedimentos adotados foram devidamente mencionados em 3.6.1.

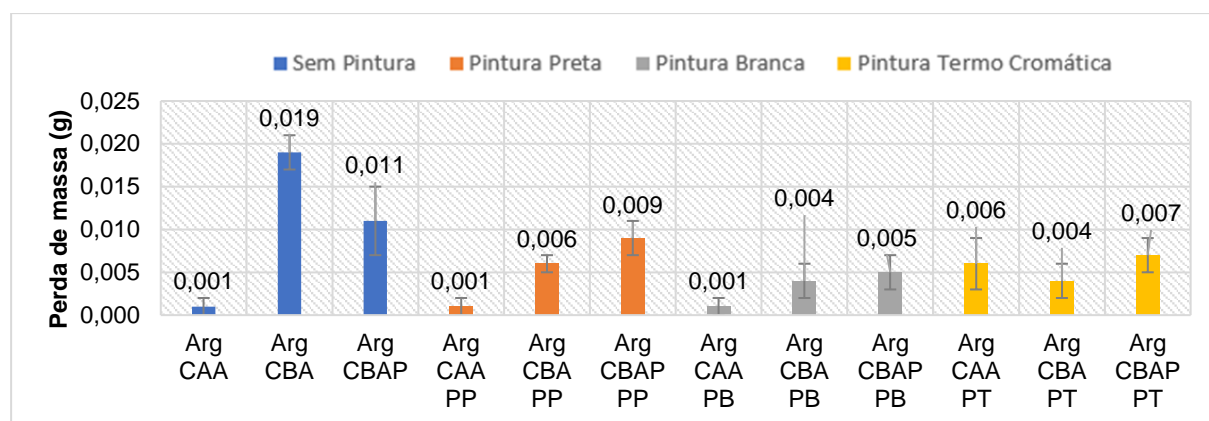


Figura 5.5 – Valores de coesão superficial dos diferentes sistemas de acabamento

Da análise do gráfico, depreende-se que:

- Isoladamente, a argamassa CBA sem pintura apresentou o pior resultado de coesão (0,019 g);
- No geral, as argamassas com pintura mostraram-se mais coesas do que aquelas que não tinham acabamento;
- Dentre os sistemas de pintura, destaca-se que a argamassa de CAA com pintura termo cromática apresentou-se menos coesa que as demais argamassas de CAA;
- As argamassas de cal aérea revelaram-se mais coesas que as demais, exceto no sistema de pintura termo cromática (PT).

5.4.2 Dureza superficial

Conforme já consignado⁵², os ensaios de dureza superficial nos mesmos provetes utilizados no ensaio anterior. Quanto ao ponto, os resultados encontram-se reproduzidos no gráfico abaixo:

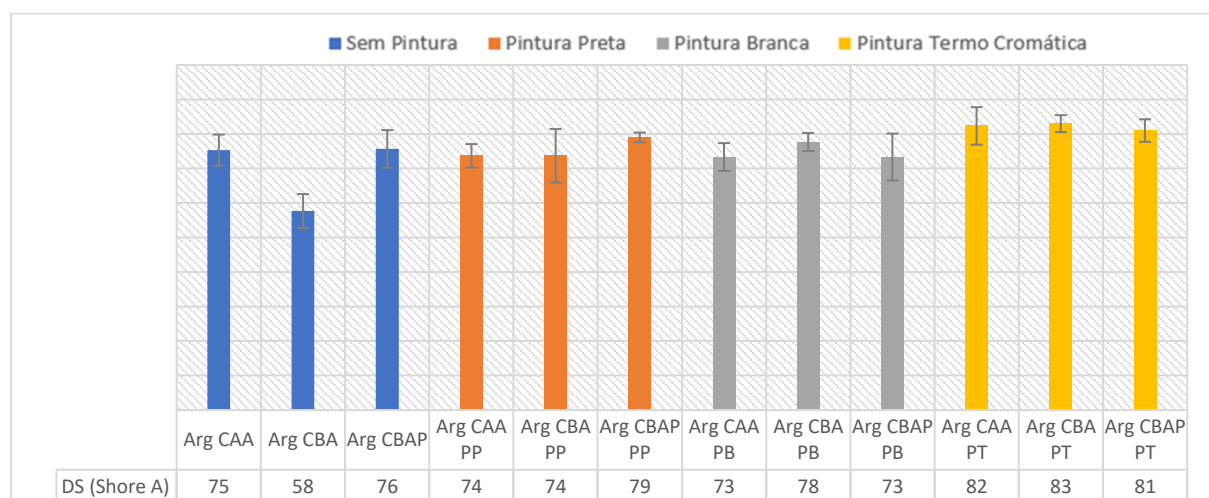


Figura 5.6 – Valores de dureza superficial dos diferentes sistemas de acabamento

⁵² Os procedimentos adotados foram devidamente mencionados em 3.6.2.

Os resultados permitem afirmar que:

- Individualmente, a argamassa CBA sem pintura apresentou o pior resultado de dureza superficial (58 Shore A). Porém, quando recebeu o sistema de pintura preta termo cromática, tornou-se mais rija e ostentou o maior resultado de dureza superficial das amostras (83 Shore A);
- No geral, as argamassas sem pintura revelaram-se menos rígidas superficialmente. Resultado já era esperado, porquanto esse tipo de argamassa não possui uma camada de proteção (tinta), quando comparada às outras;
- À medida que as argamassas recebiam os sistemas de pintura, tornavam-se mais rijas. Dessa forma, o sistema de pintura termo cromática apresentou os maiores resultados de dureza superficial, já que sua face recebeu dois gêneros de pintura;
- As argamassas de cal aérea exibiram uma performance de dureza superficial equivalente à performance das argamassas de cimento. Isso ocorre porque a superfície da argamassa de cal aérea, até sua estabilização, ganha gradativamente mais resistência à medida em que permanece em contato com o ar.

5.4.3 Erosão por desgaste à seco

Os resultados dos ensaios de abrasão⁵³ nos mesmos provetes tipo 3 utilizados nos ensaios anteriores encontram-se reproduzidos no gráfico abaixo:

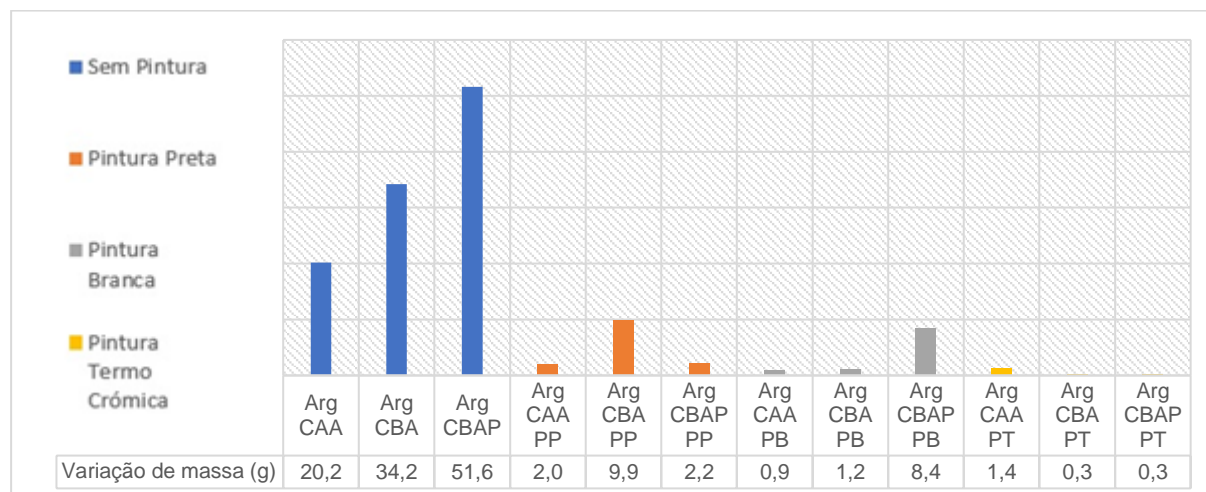


Figura 5.7 – Valores de abrasão a seco dos diferentes sistemas de acabamento

No geral, as argamassas sem pintura tiveram resultados de abrasão muito superiores aos das argamassas com pintura. Essa diferença adveio de duas razões: (I) os sistemas de pinturas protegeram demasiadamente o reboco da erosão; e (II) os provetes ganharam resistência à erosão com o passar

⁵³ Os procedimentos adotados foram devidamente mencionados em 3.6.3.

dos dias, uma vez que houve uma diferença de aproximadamente 130 dias entre a realização do ensaio nas amostras com e sem pintura.

Além disso, a argamassa com resíduos de madeira e sem pintura é mais friável que as outras, seguida pelas argamassas CBA e CAA, também sem acabamento, respectivamente. Infere-se, destarte, que as argamassas ganharam proteção na medida em que foram pintadas. Tanto é verdade, que, no caso das argamassas com duplo procedimento de pintura – sistema termo cromático – a proteção à abrasão foi tamanha que sequer houve significativa variação de massa por desgaste.

A seguir, os resultados dos ensaios termográficos são apresentados.

5.4.4 Análise térmica na câmara climática

Conforme já consignado⁵⁴, o objetivo dos ensaios térmicos controlados nos provetes tipo 4 foi verificar se o sistema de pintura termo cromática alteraria sua coloração em conformidade com as indicações do fabricante. As mudanças de coloração foram acompanhadas por paletas de cores do branco ao preto, estrategicamente posicionadas na câmara térmica.

Nas figuras abaixo, os provetes foram posicionados da seguinte forma:

- 1ª fileira, em cima, sentido esquerda para direita: CAA-PT, CBAP-PB, CBA-PB, CAA-PB, CBAP-PT;
- 2ª fileira, em baixo, sentido esquerda para direita: CBAP- PP, CBA-PP, CAA-PP, CBA-PT.



Figura 5.8 – Provetes tipo 4 dentro da camara climática à temperatura de 20°C (à esquerda) e 26°C (à direita)

Nas temperaturas de 20°C (figura 5.8) e 26°C (figuras 5.8), não houve mudança na coloração das pinturas termo cromáticas: elas continuaram na coloração preta, assim como as pinturas brancas continuaram brancas e as pinturas pretas permaneceram pretas.

⁵⁴ Cfr. item 3.6.4.



Figura 5.9 – Provetes tipo 4 dentro da camara climática à temperatura de 28.5°C (à esquerda) e 31°C (à direita)

Nas temperaturas de 28,5°C (figura 5.9 - esquerda) e 31°C (figuras 5.9 - direita), a coloração das pinturas termo cromáticas começou a se modificar: enquanto os provetes com acabamento branco continuaram brancos e os provetes com acabamento preto continuaram pretos, os provetes termo cromáticos saíram da cor preta 13 para cor preta 9, aos 28,5°C, e para a cor branca 3, aos 31°C. Ou seja: a mudança de cores da pintura termo cromática funcionou e ocorreu na faixa de temperatura apontada pelo fabricante.



Figura 5.10 – Provetes tipo 4 dentro da camara climática à temperatura de 37°C (à esquerda) e novamente 20°C (à direita)

Na temperatura de 37°C, a expectativa era de que os provetes termo cromáticos atingissem tonalidades claras de branco, alcançando a mesma tonalidade dos provetes com sistema de pintura branca original (figura 5.10), contudo isso não ocorreu. Assim como nos outros provetes com outros sistemas de pintura, as cores dos provetes com pintura termo cromática permaneceram inalteradas. Não houve mais progressão nas tonalidades de branco, ou seja, os provetes com pintura termo cromática continuaram na mesma tonalidade da última temperatura ensaiada, de 31°C.

O próximo passo foi verificar se, ao arrefecer as amostras, elas voltariam às mesmas tonalidades iniciais. Na figura 5.10 acima, essa expectativa foi confirmada, pois todos os provetes estavam na mesma tonalidade inicial ao retornarem à temperatura de 20°C inaugural. Foi, portanto,

constatado que os pigmentos termo cromáticos funcionaram de acordo com as especificações do fabricante no sistema de pintura termo cromática adotado neste trabalho.

Ressalte-se, entretanto, que mesmo antes da submissão dos provetes de sistema de pintura termo cromática à câmara térmica, a tonalidade preta por eles apresentada não era idêntica a dos provetes de sistema de pintura preta, sendo, na realidade um pouco mais clara do que o referencial de provetes preto. De maneira semelhante, o sistema de pintura termo cromática não conseguiu alcançar as tonalidades brancas referenciadas pelo sistema de pintura branca, nem quando atingida a temperatura de 37°C.

A figura 5.11 evidencia essas diferenças de tonalidades:

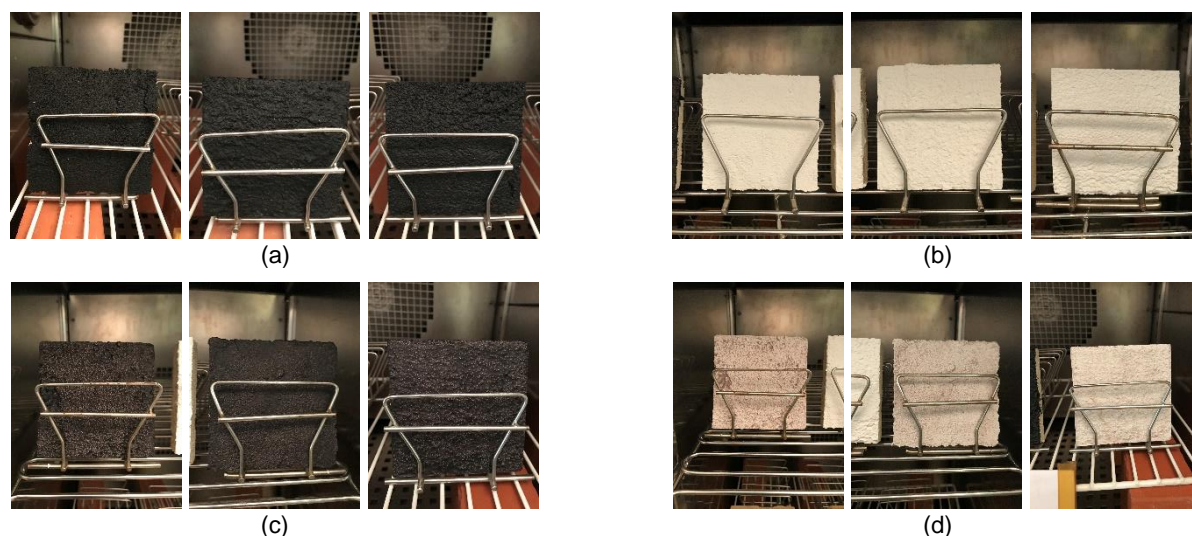


Figura 5.11 – Tonalidades do sistema de pintura nas amostras: (a) sistema de pintura preta; (b) do sistema de pintura branca; e (c) do sistema de pintura termo crômico a 20°C; e (d) a 37°C.

A seguir, discute-se a influência dessas diferenças de tonalidades nas temperaturas superficiais.

5.4.5 Termografia

O objetivo dos ensaios de termografia nos provetes tipo 4⁵⁵ foi verificar quais seriam as temperaturas superficiais nas amostras, quando submetidas a uma fonte de calor por radiação de 1000W de potência, com medições em três intervalos de 300 segundos. Os resultados foram divididos em três partes:

1. Avaliação dos provetes, em conjunto, por meio das fotografias e termografias do ensaio;
2. Avaliação dos resultados da termografia a partir dos tipos de argamassa;
3. Avaliação dos resultados da termografia a partir dos tipos de pinturas.

⁵⁵ Os procedimentos adotados foram devidamente mencionados em 3.6.5.

5.4.5.1 Análise dos resultados utilizando as fotografias

Nas figuras abaixo, os provetes foram posicionados da seguinte forma:

- Sentido esquerda para direita: CAA-PP, CAA-PT, CAA-PB, CBAP-PB, CBAP-PT, CBAP-PP; CBA-PB, CBA-PT, CBA-PP.

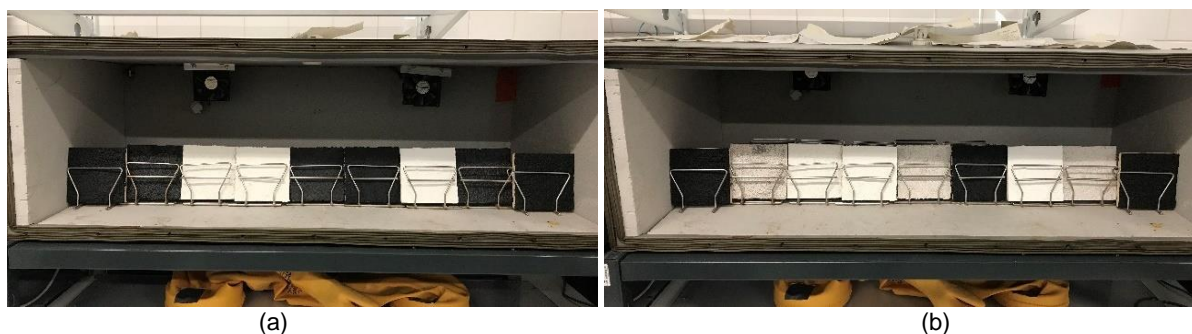


Figura 5.12 – Amostras no ensaio de termografia com a fonte de energia desligada: (a) instante inicial $t_0=0$ s; e (b) instante final $t_3=900$ s.

Assim como já tinha acontecido no ensaio de análise térmica na câmara climática, nos instantes inicial ($t_0=0$ s) e final ($t_3=900$ s) do ensaio (figura 5.12), as amostras que receberam acabamento por pintura termo cromática mudaram a cor de suas superfícies de preta (a) para branca (b). Isso significa que, ao final de 900s recebendo radiação – tempo total de duração do ensaio, as temperaturas superficiais das amostras ultrapassaram os 31°C.



Figura 5.13 – Amostras no ensaio de termografia com a fonte de energia ligada: (c) instante $t_1= 300$ s; e (d) instante $t_2=600$ s.

No intervalo de tempo restante (entre $t_1=300$ s e $t_2=600$ s - figura 5.13), as amostras que receberam pintura termo cromática estavam em meio a processo de modificação da cor de sua superfície – de preta (c) para branca (d). Ademais, as bordas das superfícies das amostras estavam mais claras enquanto o centro encontrava-se mais escuro, evidenciando que, nos instantes t_1 e t_2 , as bordas das superfícies achavam-se numa temperatura mais elevada que a dos centros dos provetes.

Não se olvide que, segundo as teorias de fluxo de calor, a superfície de contato das zonas exteriores é maior que a da zona interior, o que se traduz por ganhos de calor mais elevados nesses locais (Henriques, 2016).

Especificamente quantos às termografias, as figuras 5.14 e 5.15 são imagens dos provetes feitas pela câmera termográfica durante o ensaio. Elas permitam a obtenção das temperaturas superficiais das amostras em todos os instantes programados para análise.

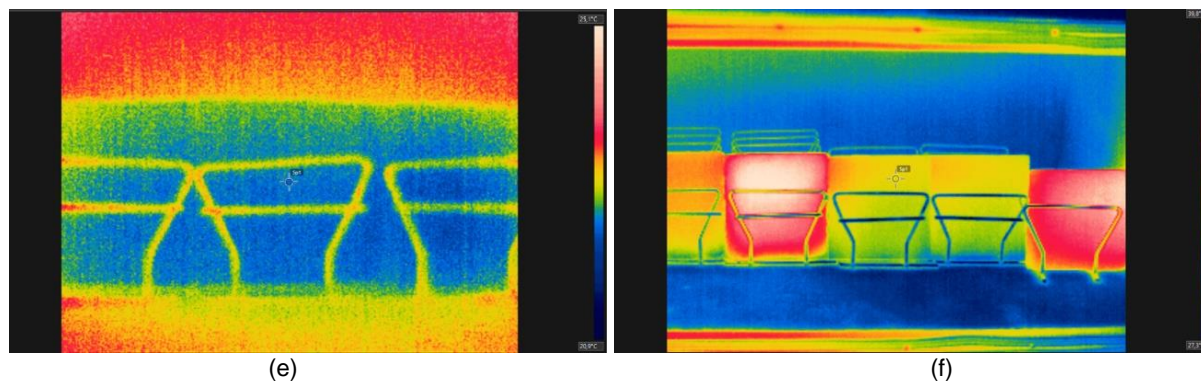


Figura 5.14 – Imagens do ensaio de termografia, amostras nos instantes $t_0=0s$ (e); e $t_3=900s$ (f)

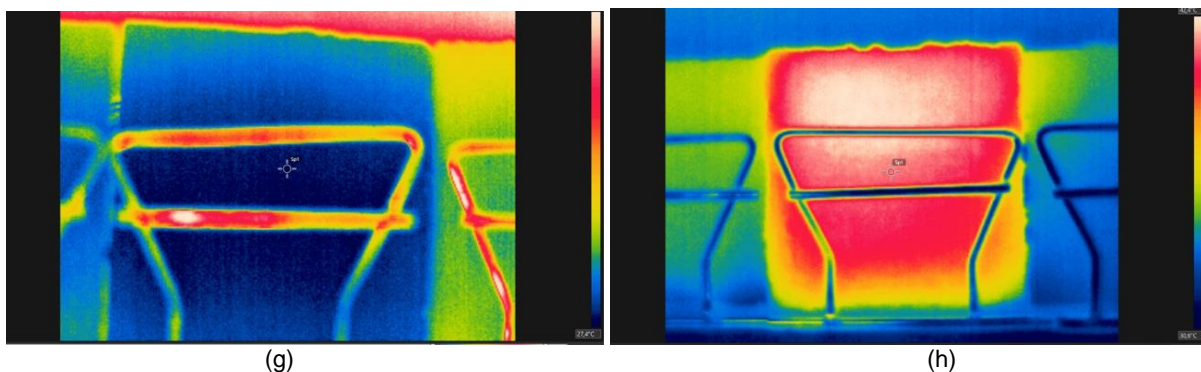


Figura 5.15 – Imagens do ensaio de termografia, argamassas CAA PT nos instantes $t_1=300s$ (g); e $t_2=600s$ (h)

As imagens infravermelhas acima mostram algumas amostras em momentos distintos do ensaio. Nos instantes t_0 e t_1 (figura 5.15 - (e) e (g)), as superfícies das amostras ainda apresentavam coloração predominantemente fria (azul, segundo a paleta de cores), evidenciando que permaneciam abaixo dos $31^{\circ}C$. Já nos instantes t_2 e t_3 (figura 5.15 – (f) e (h)), as superfícies das amostras possuíam coloração predominantemente quente (vermelha e amarela), demonstrando que encontravam em temperatura acima dos $31^{\circ}C$. Tais termografias, portanto, estão em consonância com os resultados obtidos nas fotografias anteriormente comentadas.

Obtidos os dados por meio das termografias, foi possível proceder a análise dos resultados por meio de gráficos.

5.4.5.2 Análise dos resultados com gráficos separados por tipo de argamassas

Os gráficos da figura 5.16 estão divididos por tipos de argamassa. Assim, cada um representa os comportamentos dos provetes de um mesmo tipo de argamassa com três sistemas de pintura diferentes.

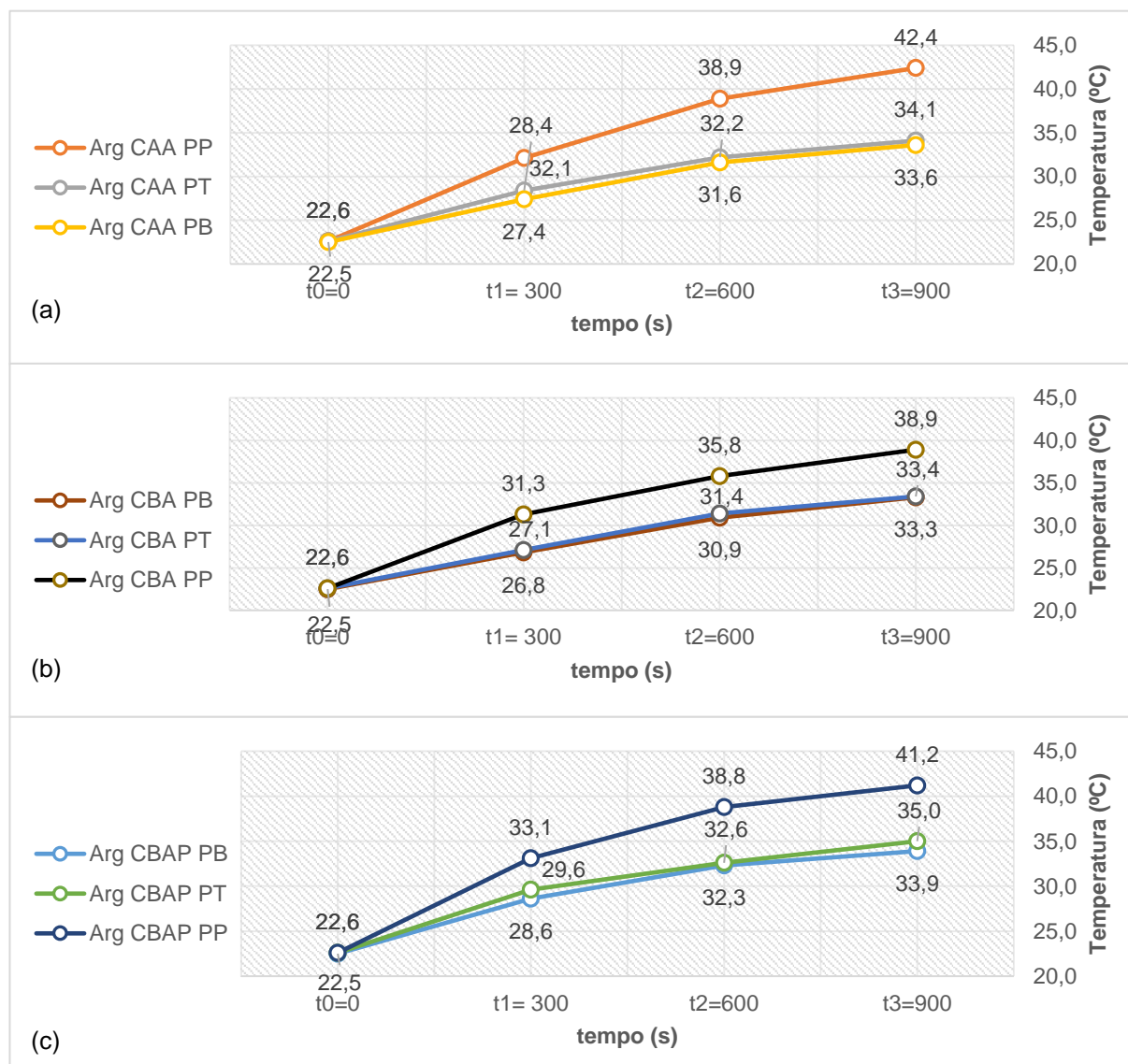


Figura 5.16 – Temperatura superficial x tempo para as argamassas de cal aérea (a); cimento branco (b); e cimento branco com resíduo (c).

De uma simples observação dos três gráficos, depreende-se que os acabamentos por sistema de pintura preta atingiram as temperaturas superficiais mais elevadas, independentemente do tipo de argamassa. Esses resultados já eram esperados. Como sabido, as pinturas de cor escura absorvem mais energia e apresentam uma compensação por emissão muito baixa, motivo pelo qual a temperatura superficial torna-se mais elevada do que em pinturas de cores mais claras (Henriques, 2016).

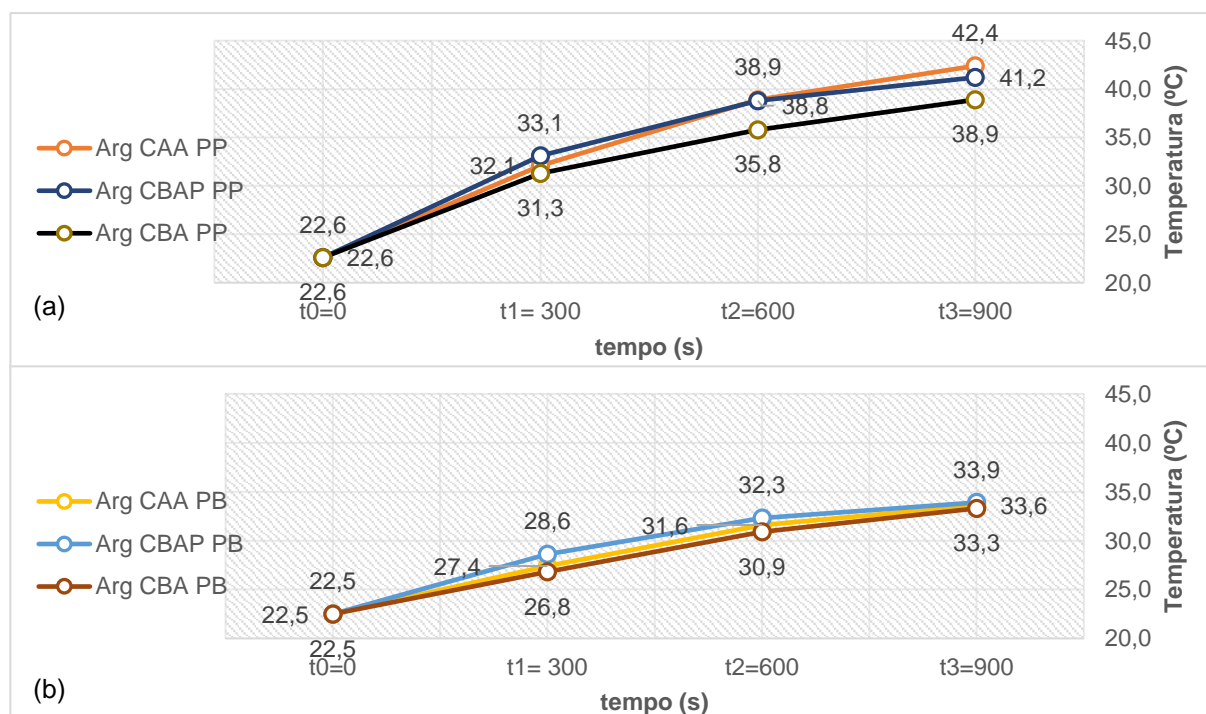
Em contrapartida, em todos os gráficos, as argamassas com sistema de pintura branca atingiram os patamares de temperatura superficial mais baixos. Tratando-se de superfícies claras, as temperaturas aumentam menos porque a energia absorvida é pequena e parte dela ainda é reemitida para o exterior (Henriques, 2016).

As argamassas com sistema de pintura termo cromática atingiram temperaturas superficiais com patamares intermediários, entre os sistemas de pintura preta e branca. Ademais, apresentaram ângulos de curvaturas mais próximos dos sistemas de pintura branca. Em teoria, os marcadores das argamassas com pintura termo cromáticas deveriam estar mais próximos dos marcadores das argamassas com pintura preta no instante t_1 , já que suas superfícies possuíam aparência preta entre os instantes t_0 e t_1 . Entretanto, tais sistemas receberam duplo acabamento de pintura: primeira demão de tinta branca e segunda de tinta termo cromática. Assim, o sistema de pintura branca (primeira demão) influenciou na medida em que não absorveu a radiação e, mais além, a emitiu em quantidade superior, quando comparada a uma hipotética primeira demão preta.

Apesar disso, no geral, os gráficos comportaram-se conforme a literatura e atingiram as curvas almejadas.

5.4.5.3 Análise dos resultados a partir de gráficos separados por tipo de pinturas

Os gráficos da figura 5.17 estão divididos por tipos de pintura. Assim, cada um representa os comportamentos dos provetes com um mesmo sistema de pintura mas em três tipos diferentes de argamassas.



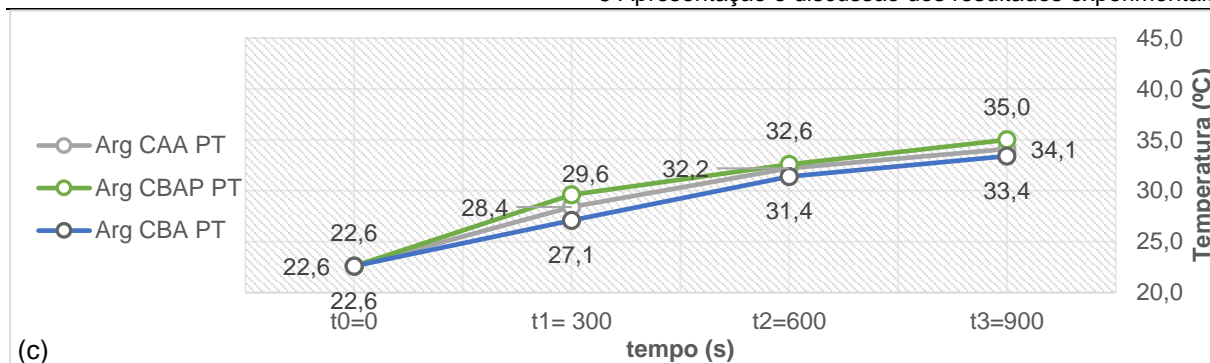


Figura 5.17 – Temperatura superficial x tempo para o sistema de pintura preta (a); sistema de pintura branca (b); e sistema de pintura termo cromática (c).

Ao observar as figuras, verifica-se que os valores das temperaturas superficiais apresentados pelos sistemas de pintura, em cada instante, são muito próximos, independentemente do tipo de argamassa. De todos os gráficos, a variação máxima de temperatura encontrada foi de 3,5°C, no sistema de pintura preta, entre as argamassas CAA e CBAP, no instante t_3 da figura 5.17 (a). Esse valor pode ser considerado baixo, na medida em que não ultrapassa 10% do patamar máximo de temperatura alcançado em todo o ensaio, qual seja, 42,4°C (também na figura 5.17 (a)).

Outro ponto relevante é que as argamassas CBAP apresentaram valores de temperatura superficial superiores às outras argamassas, a cada instante. Ocorre que, durante o ensaio, esses provetes estavam posicionados em frente à fonte de energia, enquanto os demais, referentes às outras argamassas, estavam mais lateralizados. Nesse caso, o ângulo de orientação formado entre as amostras e a fonte de emissão da radiação determinou seu grau de captação. Em outras palavras, as amostras posicionadas em frente à fonte de energia absorveram maior quantidade de energia que as amostras mais lateralizadas devido ao fator de forma⁵⁶. Outro fator passível de consideração é a dificuldade que essas argamassas possuem em conduzir o calor absorvido pela pintura preta, uma vez que possuem uma condutibilidade térmica menor.

⁵⁶ Designa-se por fator de forma o parâmetro puramente geométrico, que permite quantificar a quantidade de energia (fração da radiação) emitida por uma superfície que atinge a outra (Henriques, 2016).

6 Resultados de simulação numérica no EnergyPlus

6.1 Considerações iniciais

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes às simulações numéricas efetuadas no software EnergyPlus. No total, foram realizadas 6 simulações, diferenciadas entre si pelos tipos de reboco utilizados na envolvente exterior (cal aérea, cimento branco ou cimento branco com resíduos de madeira) e seus acabamentos por pintura (sistemas de pintura preto ou branco).

Numa primeira fase, um relatório de dados para cada tipo de argamassa escolhido foi gerado. Nesses relatórios, foram analisadas as perdas e os ganhos energéticos das envolventes, considerando, para tanto, as pinturas preta ou branca em cada tipo de argamassa. A partir daí, foram estimados os benefícios energéticos que uma possível pintura termo cromática poderia gerar ao modelo.

Numa segunda fase, novos relatórios de dados foram produzidos e analisados consoante as necessidades energéticas anuais – aquecimento e arrefecimento. De igual maneira, tais dados foram usados para simular o comportamento e benefícios de uma tinta termo cromática.

6.2 Resultados das simulações

6.2.1 Perdas e ganhos energéticos

As paredes exteriores, cobertura, janelas e pavimentos são as áreas do edifício por onde ocorrem a maioria das trocas energéticas, devido ao seu contato direto com o ambiente exterior. Nesta seção, são analisados as perdas e os ganhos, por condução na envolvente do edifício. Para tanto, recorreu-se aos dados relativos à lista de variáveis pré-estabelecida no programa – Zone Surface Inside Face Conduction Heat Loss Rate, Zone Surface Inside Face Conduction Heat Gain Rate, Zone Window Heat Loss Rate e Zone Window Heat Gain Rate⁵⁷.

Os resultados a seguir apresentados estão divididos por tipo de argamassa.

6.2.1.1 Reboco exterior com a argamassa CAA

A primeira situação analisada refere-se à edificação com argamassa de cal aérea e pintura preta nas fachadas e cobertura exteriores. A caracterização foi realizada segundo as perdas e os ganhos energéticos por estação climática, dentro de um período de um ano. Os elementos construtivos

⁵⁷ Cfr. item 4.13, nº 5.

analisados foram: envolvente opaca vertical ou alvenaria (composta por zona corrente e zona de ponte térmica plana), cobertura, pavimento térreo e janelas.

O detalhamento das soluções construtivas dessa simulação estão no Apêndice B. Na tabela 6.1 encontram-se os resultados.

Tabela 6.1 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CAA – PP

Reboco Exterior – Argamassa CAA + Pintura Preta		
Elementos	Perdas energéticas no período de aquecimento (W)	Ganhos energéticos no período de arrefecimento (W)
Zonas correntes	306	88
Pontes térmicas	161	41
Cobertura	160	136
Pavimento térreo	205	58
Vãos envidraçados	745	414
Total	1.577	736

Neste modelo, as envolventes opacas verticais e horizontais que receberam pintura preta nas faces exteriores tiveram perdas energéticas de 627 W no período de inverno – correspondente a 40% das perdas totais do inverno – e ganhos energéticos de 265 W no período de verão – igual a 36% dos ganhos totais no verão. Ou seja, mais de um terço das trocas energéticas ocorridas nas duas estações do ano aconteceram nas alvenarias e coberturas externas pintadas na cor preta, o que revela uma significativa participação de tais envolventes nas trocas energéticas da edificação (figura 6.1)

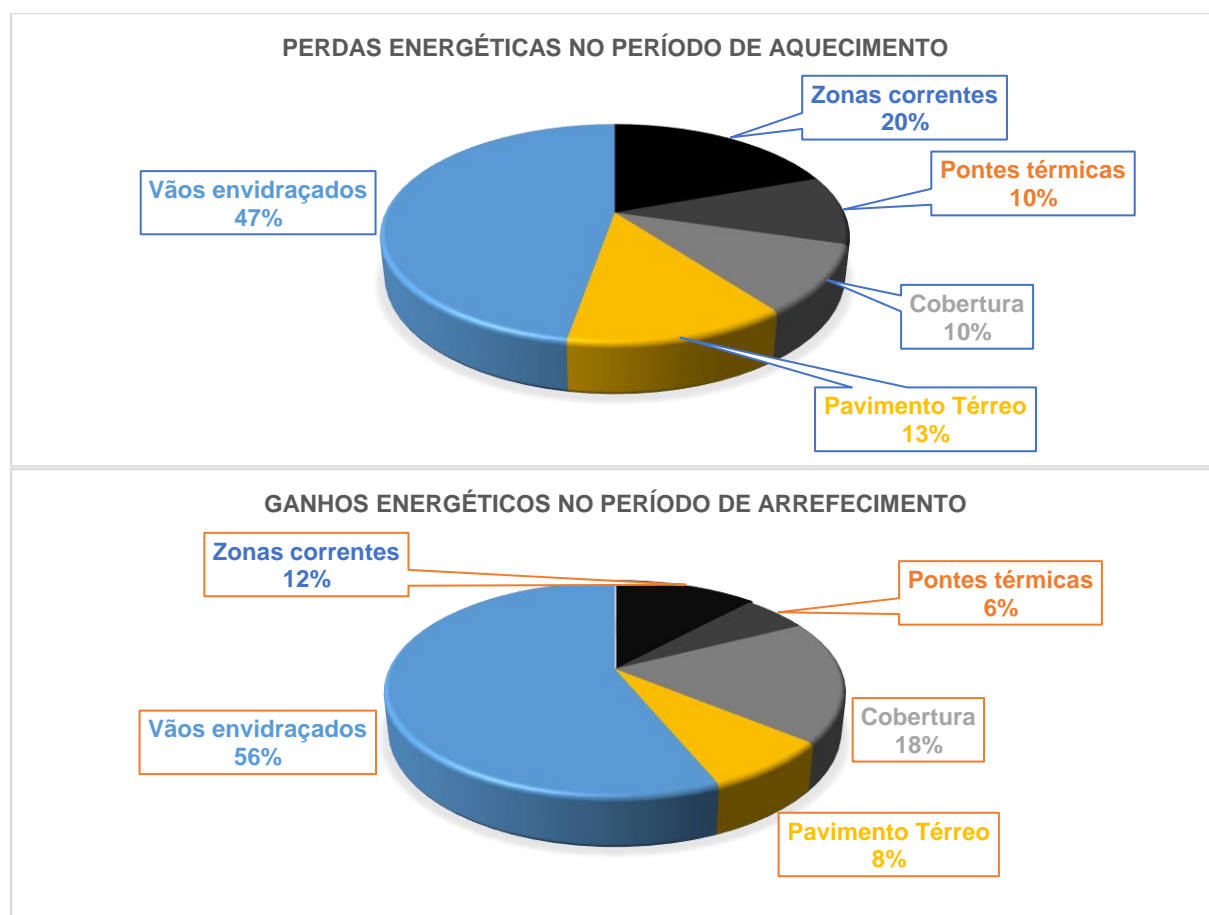


Figura 6.1 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CAA-PP

Já o comportamento do sistema de pintura branca no mesmo tipo de argamassa foi apresentado por meio da tabela 6.2:

Tabela 6.2 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CAA – PB

Reboco exterior – argamassa CAA + pintura branca		
Elementos	Perdas energéticas no período de aquecimento (W)	Ganhos energéticos no período de arrefecimento (W)
Zonas correntes	432	18
Pontes térmicas	240	4
Cobertura	326	13
Pavimento Térreo	166	38
Vãos envidraçados	689	440
Total	1.854	514

As envolventes opacas verticais e horizontais que receberam pintura branca nas faces exteriores tiveram perdas energéticas elevadas no período de inverno, no valor de 998 W – correspondente a 54% das perdas totais da estação, e ganhos energéticos baixos no período de verão, no valor de 36 W – equivalente a 7% dos ganhos totais do período. Em outras palavras, as perdas energéticas através dessas alvenarias e cobertura foram altas na estação de aquecimento, porém bem baixas na estação de arrefecimento (figura 6.2).

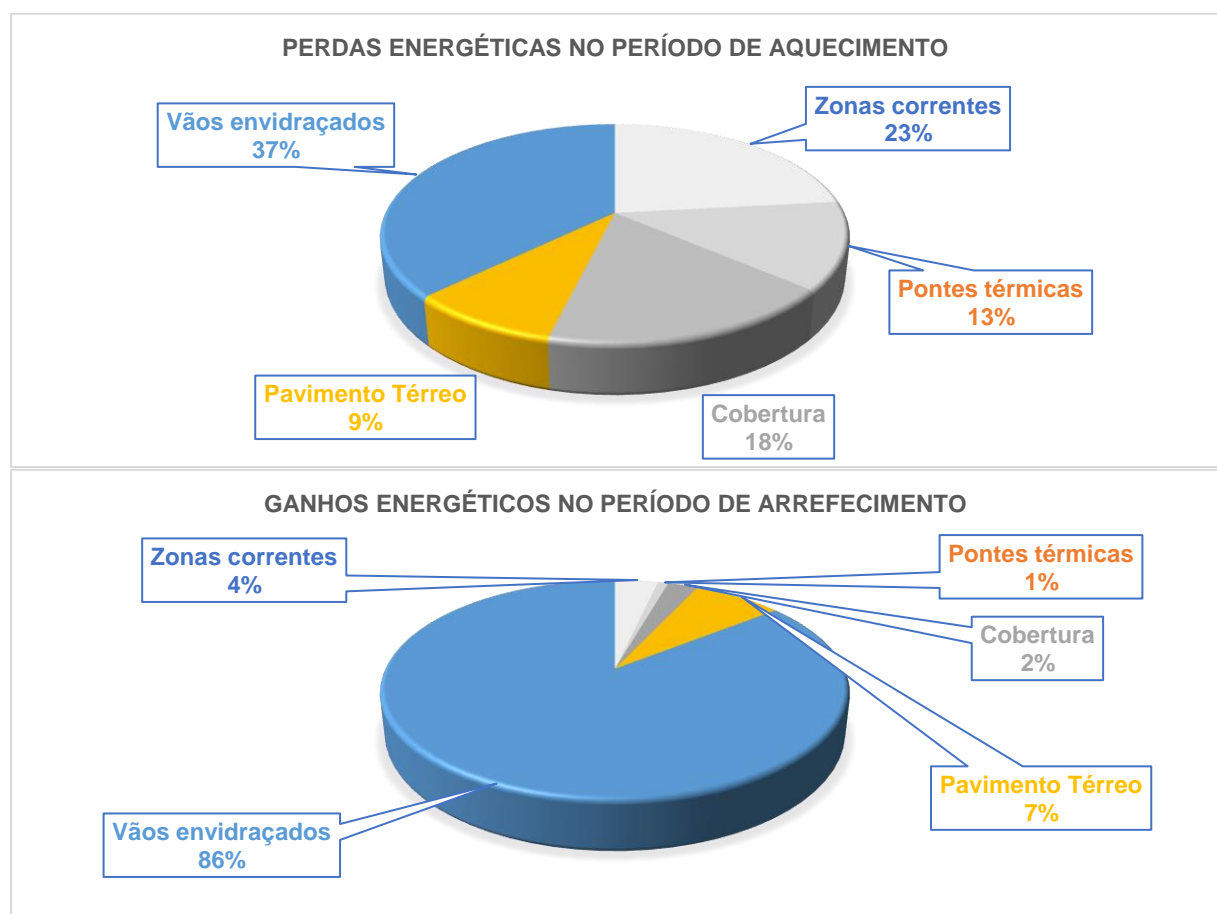


Figura 6.2 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CAA-PB

Sob a perspectiva dos valores totais de trocas energéticas da edificação – isto é, incluindo todos os elementos, das tabelas, depreende-se, que a mudança da pintura preta para a branca provocou uma diminuição dos ganhos energéticos no período de verão – de 736 W para 514 W, significando uma diferença de 222 W. Em contrapartida, a mesma modificação causou um aumento nas perdas energéticas no inverno – de 1.577 W para 1.854 W, uma diferença de 277 W. Assim, comparando os dois sistemas de pintura por estação climática, o benefício evidenciado pela pintura branca no verão (222 W) foi totalmente compensado e, mais, ultrapassado, pela perda no inverno (277 W).

Dessa forma, considerando isoladamente cada sistema de pintura, as diferenças entre perdas e ganhos energéticos totais por estação climática variam substancialmente em função da cor. Por outro lado, independentemente da cor da pintura, no inverno, as perdas energéticas são maiores que no verão, revelando-se excessivas quando utilizada a cor branca.

Vale destacar que, em países de clima quente, objeto do presente estudo, quanto menor o valor da perda energética, no período de arrefecimento, ou do seu ganho, na estação de aquecimento, melhor. Isso porque, a alta incidência solar, inerente a esses locais, idealmente deve ser absorvida no inverno e refletida no verão.

É nesse cenário, portanto, que a pintura termo cromática encaixar-se-ia perfeitamente. Os resultados obtidos na campanha experimental, em leitura conjunta com as simulações feitas com os sistemas de pintura preta e branca no EnergyPlus, permitem concluir que um sistema de pintura termo cromática restringiria as perdas por condução térmica nas envoltentes opacas exteriores, no período de inverno, e diminuiria os ganhos térmicos por essas mesmas envoltentes, no período de verão. A figura 6.3 ilustra a situação:

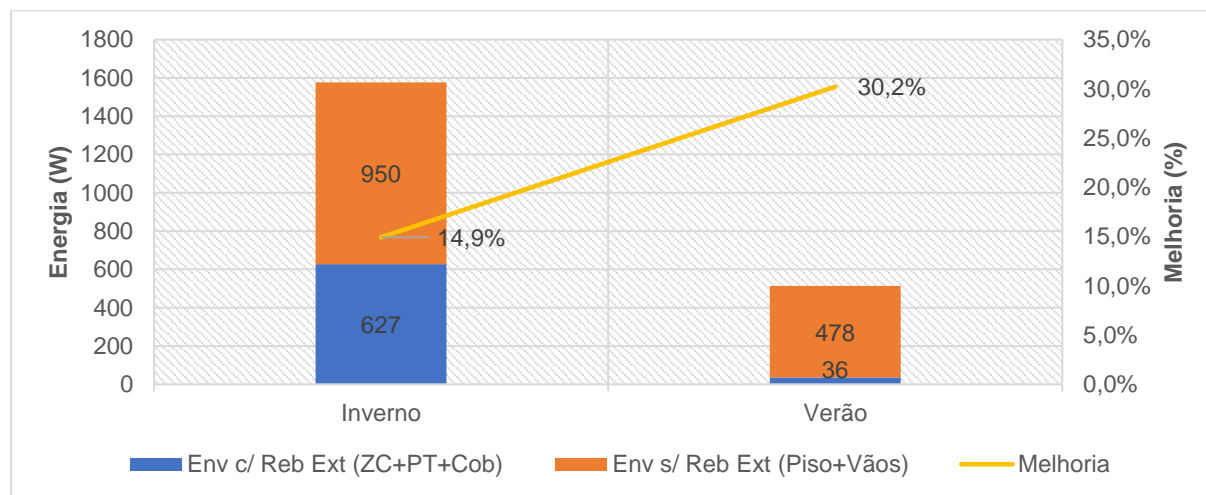


Figura 6.3 – Trocas térmicas na argamassa CAA com pintura termo cromática

Nessa perspectiva, a substituição das pinturas pretas e brancas pela pintura termo cromática representaria, quando comparada ao sistema branco, uma diminuição de 14,9% das perdas energéticas entre o edifício e o ambiente exterior no período de inverno e, quando compara ao sistema

preto, uma diminuição de 30,2% dos ganhos energéticos entre o ambiente exterior e o edifício no período de verão.

Mais além, sob o prisma dos benefícios gerados nas trocas de calor entre as envolventes opacas com argamassa exterior (zonas correntes, pontes térmicas e cobertura) e o ambiente exterior, as vantagens perspectivas da pintura termo cromática aumentam. É que as perdas no inverno passam para 37,2%, quando comparado ao sistema branco, e os ganhos no verão caem para 86,5%, se comparado ao sistema preto.

6.2.1.2 Reboco exterior com a argamassa CBA

Tratando-se de rebocos exteriores com cimento branco e sem resíduos, a primeira situação analisada foi a de pintura preta nas fachadas e cobertura exteriores. Assim como na seção anterior, foram mensuradas as perdas e ganhos energéticos apresentados ao longo de um ano, por estação climática, dos seguintes elementos construtivos: envolvente opaca vertical ou alvenaria (composta por zona corrente e zona de ponte térmica plana), cobertura, pavimento (piso inferior) e janelas.

O detalhamento das soluções construtivas nesse tipo de argamassa encontra-se no Apêndice B. Na tabela 6.3 encontram-se os resultados.

Tabela 6.3 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CAB – PP

Reboco exterior – argamassa CBA + pintura preta		
Elementos	Perdas energéticas no período de aquecimento (W)	Ganhos energéticos no período de arrefecimento (W)
Zonas correntes	303	86
Pontes térmicas	154	39
Cobertura	158	135
Pavimento térreo	205	30
Vãos envidraçados	747	413
Total	1.567	703

Na tabela 6.3, observa-se que as envolventes opacas verticais e horizontais que receberam pintura preta nas faces exteriores tiveram perdas energéticas de 615W no período de inverno – correspondente a 39% das perdas totais da estação, e ganhos energéticos de 260W no período de verão – equivalente a 37% dos ganhos totais do período. Assim como na argamassa CAA, há significativa discrepância entre as perdas energéticas nas estações de aquecimento e arrefecimento (figura 6.4).

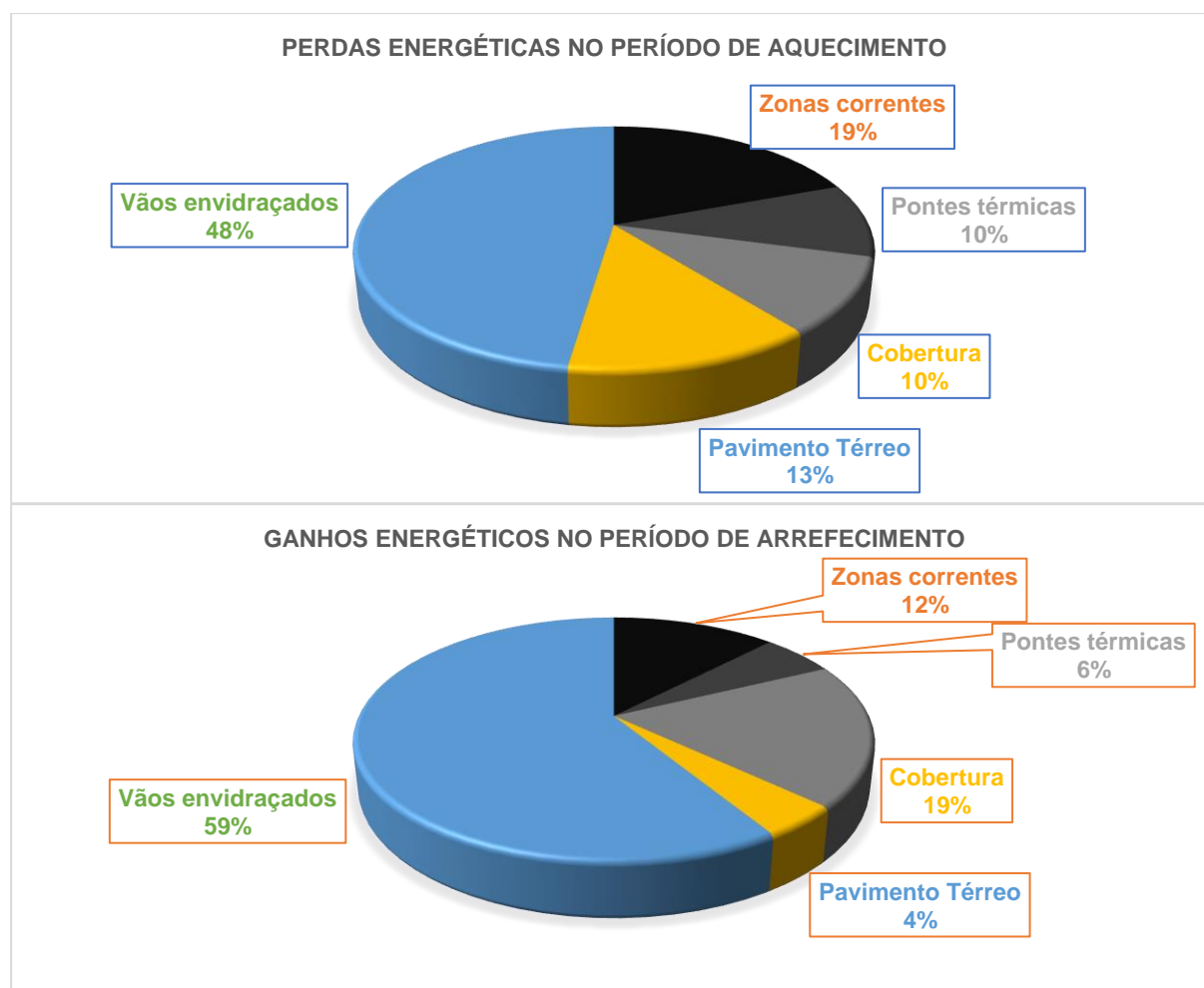


Figura 6.4 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBA-PP

No que concerne à pintura branca, verifique-se a tabela 5.4:

Tabela 6.4 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBA – PB

Reboco exterior – argamassa CBA + pintura branca		
Elementos	Perdas energéticas no período de aquecimento (W)	Ganhos energéticos no período de arrefecimento (W)
Zonas correntes	428	18
Pontes térmicas	230	4
Cobertura	323	13
Pavimento térreo	167	37
Vãos envidraçados	691	439
Total	1.839	512

Já as envolventes opacas verticais e horizontais de reboco CBA com pintura branca tiveram perdas energéticas significativas no período de inverno, no valor de 981 W – correspondente a 53% das perdas totais do período, e ganhos energéticos reduzidos no período de verão, na quantia de 36 W (mesmo valor das envolventes opacas brancas de CAA) – correspondente a 7% dos ganhos totais da estação. Dessa forma, no verão, o sistema de pintura branca acumulou 191 W a menos que o de pintura preta, mas, no inverno, perdeu 272 W a mais que o sistema de pintura preta (figura 6.5).

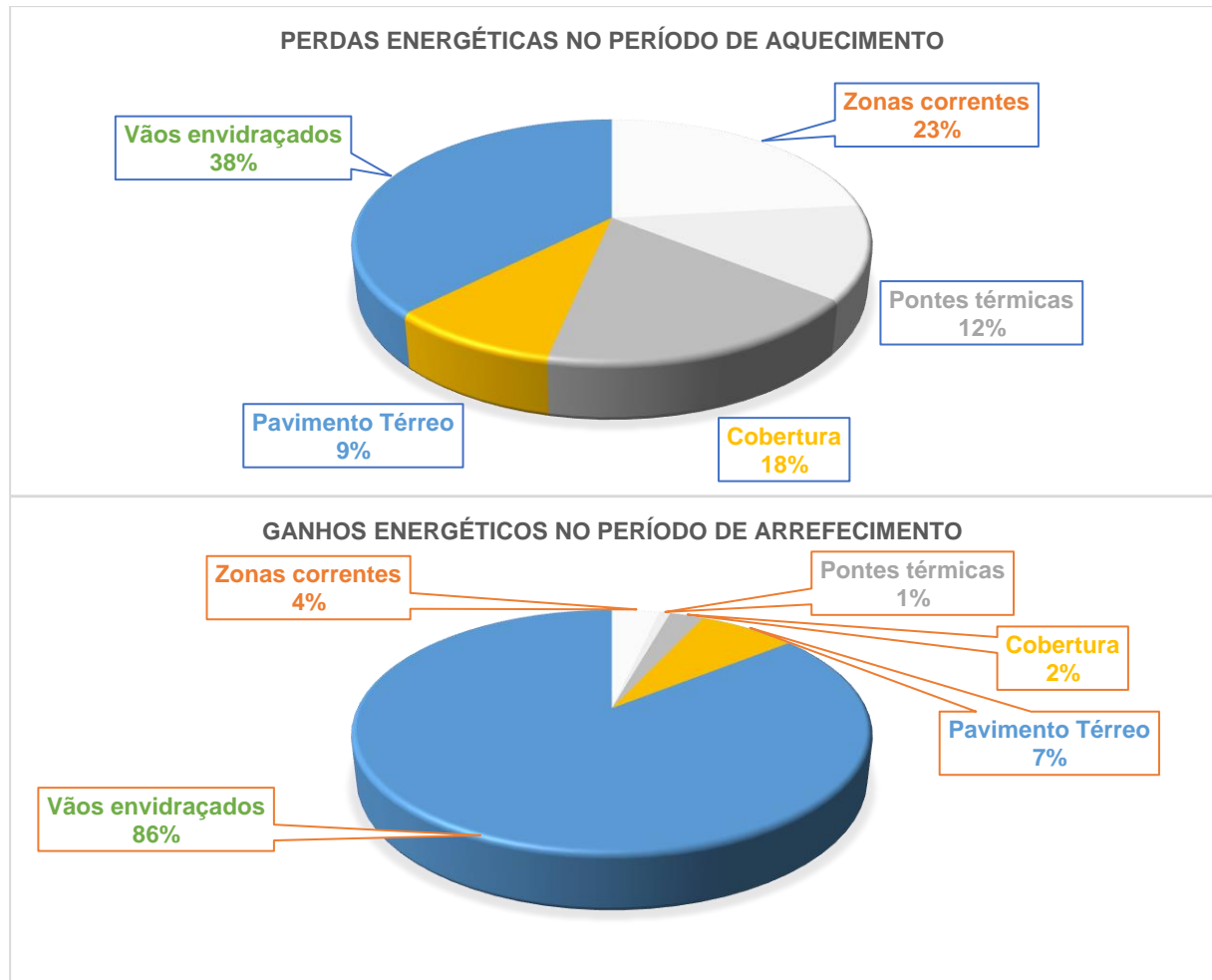


Figura 6.5 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBA-PB

Na figura 6.6, apresenta-se gráfico que retrata uma eventual mudança dos sistemas de cores acima comentados para um de pintura termo cromática:

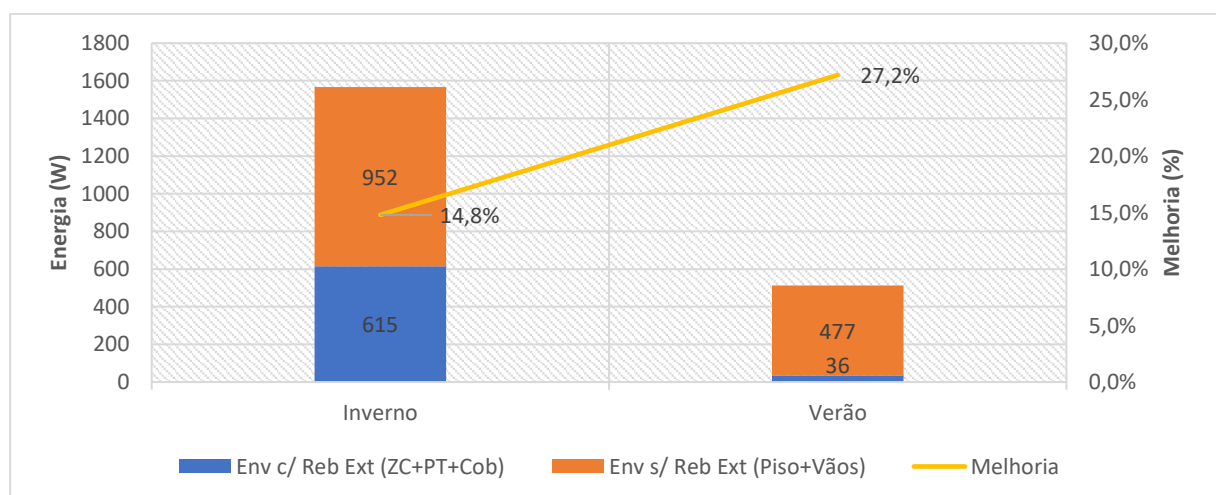


Figura 6.6 – Trocas térmicas na argamassa CBA com pintura termo cromática

Um sistema construtivo com o mesmo tipo de reboco exterior mas de pintura termo cromática resultaria, no período de inverno, em uma diminuição de 14,8% nas perdas energéticas entre todas as

envolventes do edifício e o ambiente exterior e, no período de verão, em uma diminuição de 27,2% nos ganhos energéticos entre o ambiente exterior e todas as envolventes do edifício.

Considerando apenas as trocas de calor entre as envolventes opacas com reboco exterior e o ambiente exterior, os percentuais foram de 37,3% de vantagem nas perdas e 86,3% de vantagem nos ganhos.

A seguir, estão avaliadas as trocas de calor no edifício nos casos de argamassas de cimento branco com resíduos de madeira.

6.2.1.3 Reboco exterior com a argamassa CBAP

Seguindo o mesmo padrão, a simulação com rebocos exteriores de cimento branco e resíduos de madeira foi iniciada com o sistema de pintura preta nas fachadas e cobertura exteriores. De igual modo, os elementos construtivos foram analisados segundo as perdas e ganhos energéticos apresentados ao longo de um ano.

O detalhamento das soluções construtivas desta argamassa encontra-se no Apêndice B. Na tabela 6.5, encontram-se os resultados.

Tabela 6.5 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBAP – PP

Reboco exterior – argamassa CBAP + pintura preta		
Elementos	Perdas energéticas no período de aquecimento (W)	Ganhos energéticos no período de arrefecimento (W)
Zonas correntes	281	77
Pontes térmicas	117	28
Cobertura	150	126
Pavimento térreo	209	28
Vãos envidraçados	754	410
Total	1.511	670

Na tabela 6.5, observa-se que as envolventes opacas verticais e horizontais que receberam pintura preta tiveram perdas energética de 549W no período de inverno – equivalente a 36% das perdas totais na estação, e ganhos energéticos de 232W no período de verão – significa 34% dos ganhos totais da época (figura 6.7).

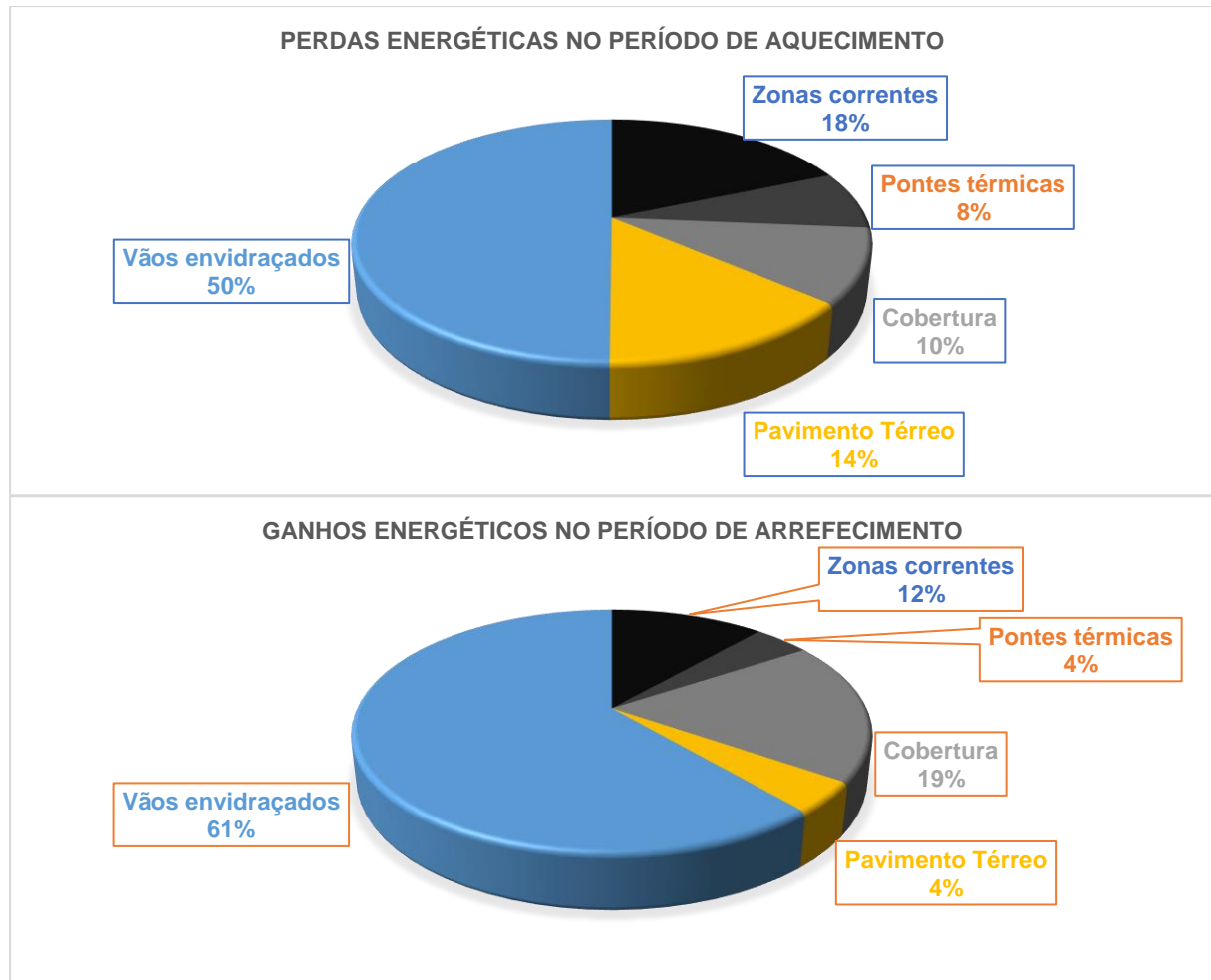


Figura 6.7 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBAP-PP

Já para o sistema de acabamento com pintura branca, apresenta-se a tabela abaixo:

Tabela 6.6 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBAP – PB

Reboco exterior – argamassa CBAP + pintura branca		
Elementos	Perdas energéticas no período de aquecimento (W)	Ganhos energéticos no período de arrefecimento (W)
Zonas correntes	400	15
Pontes térmicas	177	3
Cobertura	302	14
Pavimento Térreo	174	35
Vãos envidraçados	702	434
Total	1.754	501

No caso do sistema de pintura branca, no inverno, as envolventes opacas tiveram perdas energéticas de 878 W – correspondente a 50% das perdas energéticas da época. Já no período de verão, os ganhos energéticos foram de 32 W – equivalente a 7% dos ganhos totais da estação. Assim, no verão, o sistema de pintura branca acumulou 168 W a menos que o de pintura preta, mas, no inverno, perdeu 243 W a mais que o sistema de pintura preta (figura 6.8).

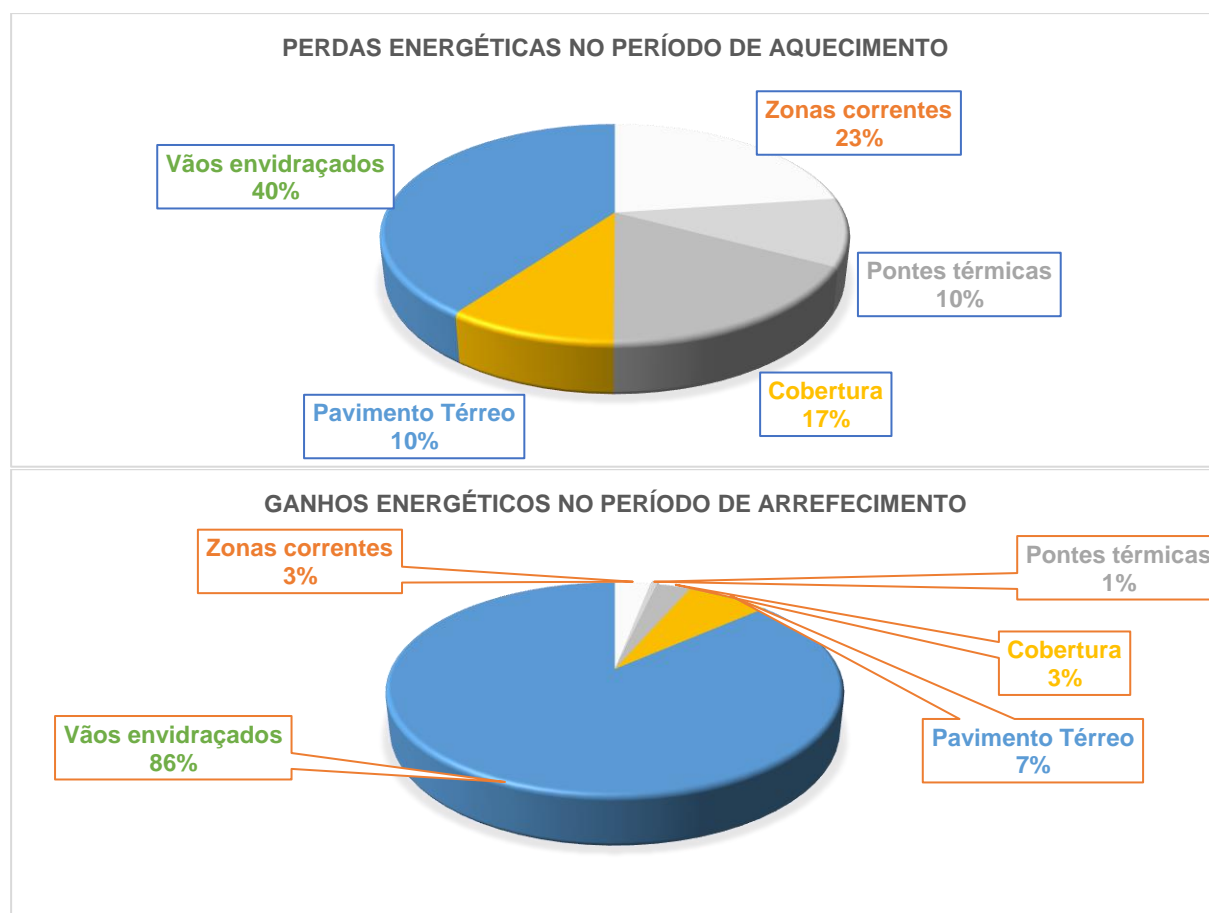


Figura 6.8 – Perdas e ganhos energéticos na argamassa CBAP-PB

Abaixo, gráfico que representa eventual mudança para um sistema de pintura termo cromática:

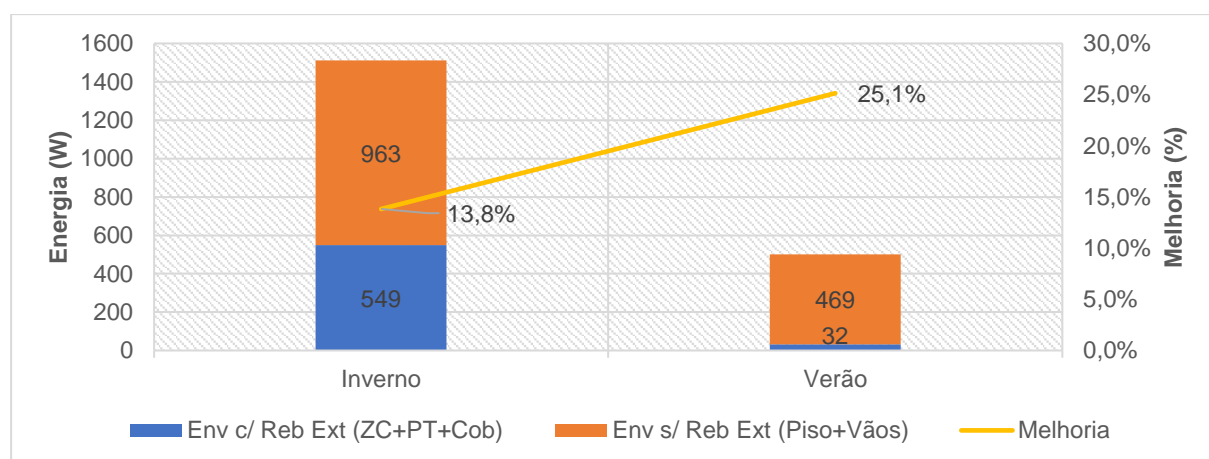


Figura 6.9 – Trocas térmicas na argamassa CBAP com pintura termo cromática

A substituição das pinturas pretas e brancas pela pintura termo cromática no sistema construtivo de reboco exterior com cimento branco e resíduos de madeira representaria uma diminuição de 13,8% das perdas energéticas entre todas as envolvente do edifício – ou 37,5% considerando apenas as envolventes opacas com reboco exterior, no período de inverno; e uma diminuição de 25,1%

nos ganhos energéticos considerando todas as envolvente – ou 86% considerando apenas as opacas com reboco exterior, no período de verão.

6.2.1.4 Síntese dos resultados das perdas e ganhos energéticos

Os resultados potenciais dos ganhos energéticos em razão de eventual pintura termo cromática nas fachadas exteriores do modelo de estudo foram detalhados e separados por períodos de aquecimento e arrefecimento na tabela abaixo. Ressalte-se que todas as análises comparativas detalhadas, a fim de avaliar o potencial máximo do sistema termo cromático, considerou como referencial o sistema de pintura branca no período de aquecimento e o sistema de pintura preta no período de arrefecimento.

Na tabela 6.7, o Δ Energia retrata as diferenças energéticas entre os ganhos ou as perdas apresentadas por cada argamassa, por estação do ano, nos moldes acima descritos. E a coluna Melhoria (percentuais diferenciais) demonstra tais diferenças em termo percentuais do total de trocas energéticas apresentado pelo referencial comparativo.

Tabela 6.7 – Melhorias proporcionadas pela pintura termo cromática nas envolventes

Tipo de reboco exterior	Aquecimento		Arrefecimento	
	Δ Energia	Melhoria	Δ Energia	Melhoria
Argamassa CAA PT	277	14,9%	222	30,2%
Argamassa CBA PT	272	14,8%	191	27,2%
Argamassa CBAP PT	243	13,8%	168	25,1%

Depreende-se, pois, que as diferenças entre os ganhos ou as perdas energéticas nas envolventes do edifício foram maiores no período de aquecimento que no de arrefecimento. Contudo, em termos percentuais, a implantação de um sistema de pintura termo cromática seria mais eficaz no período de verão, porquanto as diferenças encontradas representam percentuais maiores do sistema de pintura referencial (preta).

O mesmo quadro agora apresentado em forma de gráfico na figura 6.10:

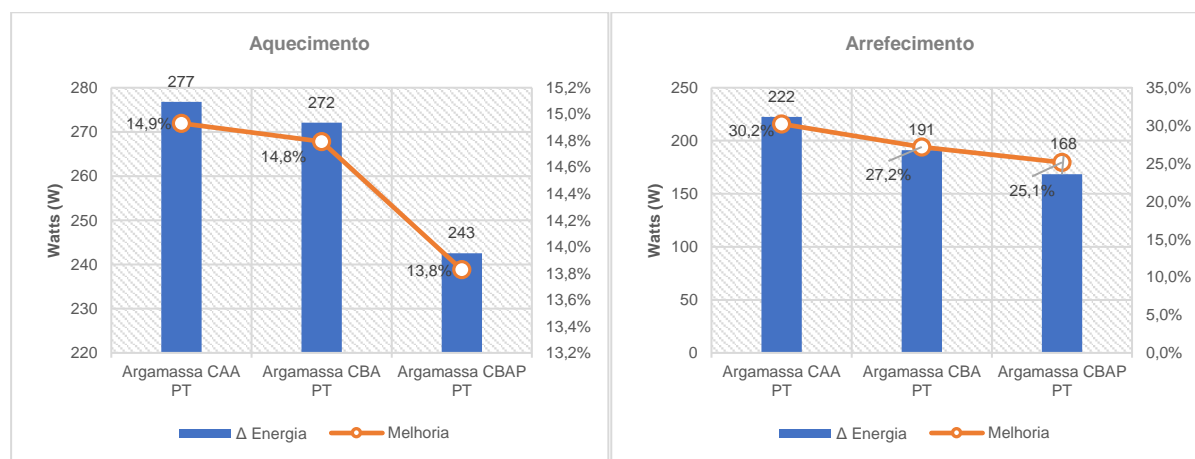


Figura 6.10 – Ganhos e perdas de energia das pinturas termo cromáticas no período de aquecimento e arrefecimento

No que tange aos desempenhos por argamassa, os gráficos apontam que, independente do período, a argamassa de cal aérea apresentou os maiores valores absolutos e percentuais de perdas/ganhos de energia, seguida pela argamassa de cimento branco; ficando a argamassa de cimento branco e resíduos de madeira com os menores valores. Isso ocorreu porque as trocas energéticas nas envoltentes dependem da condutibilidade térmica do material, que, no estudo, é maior nas argamassas de cal aérea e menor nas argamassas com incorporação de resíduos de madeira.

Apesar de apresentar os menores percentuais diferenciais, das três analisadas, a argamassa de CBAP foi a que evidenciou a menor troca térmica. E apresentar a menor troca térmica com ambiente era o desejável independente do período. É que, considerada a localidade designada para o modelo de estudo e suas características climáticas⁵⁸, o melhor comportamento de argamassas seria aquele que mais restringisse as perdas internas, no período de aquecimento, e os ganhos externos, no período de arrefecimento. Destaque-se: no inverno o comportamento da argamassa de CBAP foi muito superior aos das demais, na medida em que suas perdas energéticas foram bem inferiores à das outras argamassas.

Portanto, fica evidenciado que, para o presente estudo, o uso da argamassa de CBAP nas envoltentes externas do edifício proporcionou melhor desempenho térmico, independentemente da estação climática do ano.

6.2.2 Necessidades energéticas

Quando não há equilíbrio entre ganhos e perdas energéticas de um edifício com o meio externo, pode-se recorrer a sistemas de climatização, a fim de garantir o conforto termal dos usuários. Todavia, em regra, climatizações aumentam as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento da habitação. No caso em apreço, o estudo acerca das necessidades energéticas do modelo de edifício demandou dados previstos na lista de variáveis pré-estabelecida no programa - Zone Ideal Loads Air Total Heating Energy e Zone Ideal Loads Air Total Cooling Energy do programa EnergyPlus.

Destaque-se que, assim como no tópico anterior, todas as análises comparativas relativas ao potencial do sistema termo cromático consideraram como referencial o sistema de pintura branca no período de aquecimento e o sistema de pintura preta no período de arrefecimento.

6.2.2.1 Reboco exterior com argamassa de CAA

Os dados a seguir referem-se às necessidades energéticas do edifício simulado com reboco exterior em argamassa de cal aérea, tanto com pintura preta quanto branca, nos períodos de aquecimento e de arrefecimento.

⁵⁸ Cfr. item 4.4.

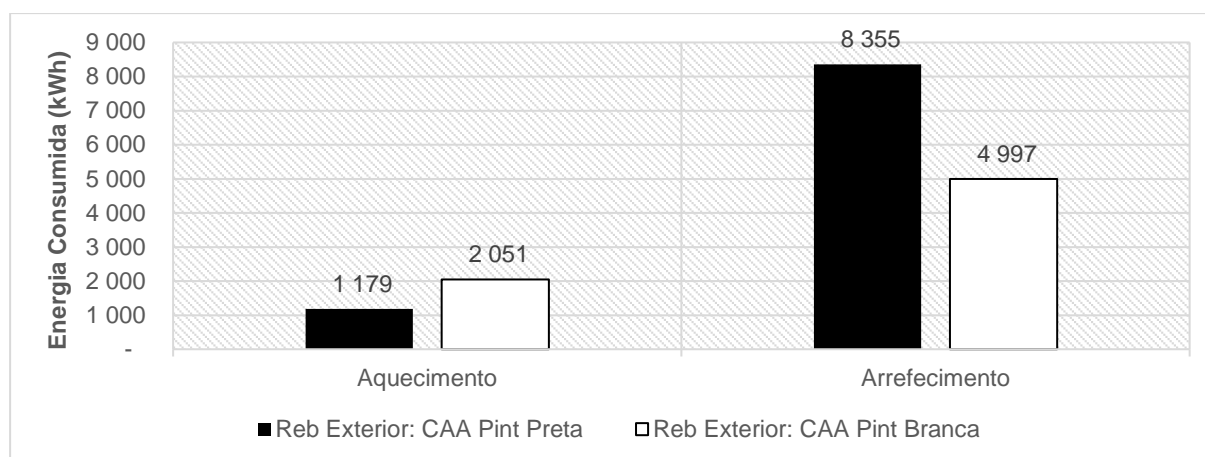


Figura 6.11 – Consumos de energia no edifício para diferentes sistemas de pintura

Da figura, foi possível obter algumas informações:

- Independente do sistema de pintura adotado, o consumo energético da edificação foi muito superior na estação de arrefecimento (8.355 kWh / 4.997 kWh) do que na estação de aquecimento (1.179 kWh / 2.051 kWh);
- No inverno, o maior consumo no interior do edifício ocorreu com a pintura branca (2.051 kWh); já no verão, a situação se inverteu: o maior gasto energético foi verificado com a pintura preta (8.355 kWh);
- Sob o prisma anual, o consumo de energia no interior do edifício foi maior quando aplicada a pintura preta (9.534 kWh/ano) do que quando utilizada a pintura branca (7.049 kWh/ano).

Todas essas observações fundam-se, basicamente, no mesmo motivo: a incidência solar na localidade designada para o estudo. Em países de clima quente, os ganhos energéticos, por incidência solar, no interior do edifício são muito superiores que nos países de clima frio. Em grandes quantidades, os ganhos solares aumentam demasiadamente a temperatura do edifício durante o dia. No inverno, tal aumento permite diminuir as necessidades de aquecimento durante o período do dia. Por outro lado, no verão, a grande incidência solar tem como consequência o aumento das necessidades de arrefecimento.

Além disso, a pintura preta absorve mais energia solar do que a pintura branca, o que acarreta um maior aumento na temperatura do interior do edifício escuro, quando comparado ao claro. Por consequência direta, também são maiores as necessidades de arrefecimento no verão, mas são menores as de aquecimento durante no inverno. Inclusive, essa é a principal justificativa para a preferência do sistema de pintura claro nas superfícies dos edifícios em zonas de clima quente e do sistema de pintura escura em zonas de clima frio (Henriques, 2016).

No que tange à pintura termo cromática, a figura 6.12 demonstra o seu potencial económico no mesmo edifício modulado com reboco exterior em cal aérea, nas diferentes estações:

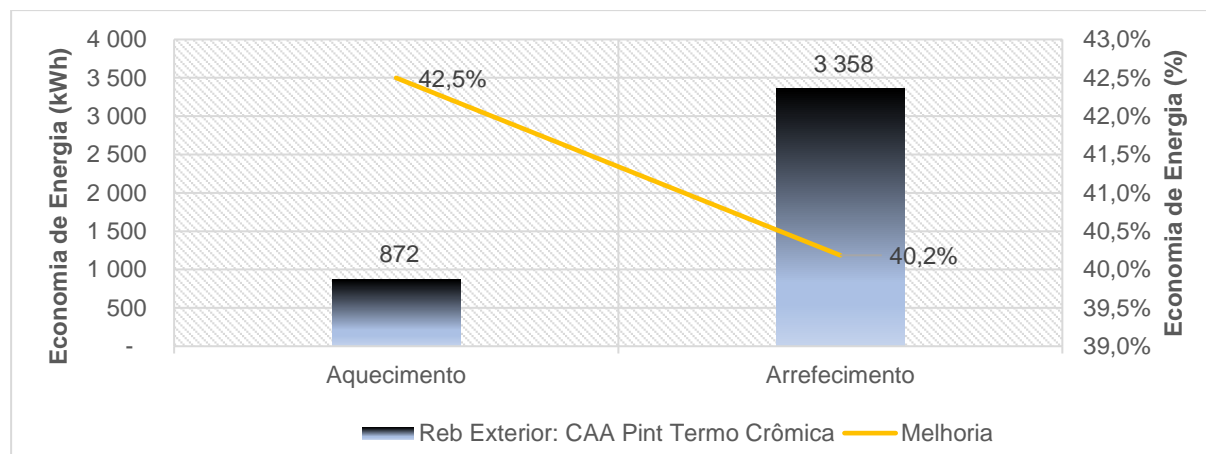


Figura 6.12 – Potencial de economia energética no edifício por estação do ano

Da figura, observa-se que, a adoção do modelo termo cromático economizaria 872 kWh durante a estação de aquecimento e 3.358 kWh na estação de arrefecimento, considerados os referenciais bases já estipulados⁵⁹. Interessante notar que, embora a quantidade de energia poupada seja bem maior no período de verão, os percentuais de economia em ambos os períodos são similares, sendo que, em termos percentuais, a economia seria maior no período de inverno – 42,5% do que no período verão – 40,2%.

A figura 6.13 demonstra o potencial económico da pintura termo cromática no mesmo edifício modelo sob a perspectiva anual:

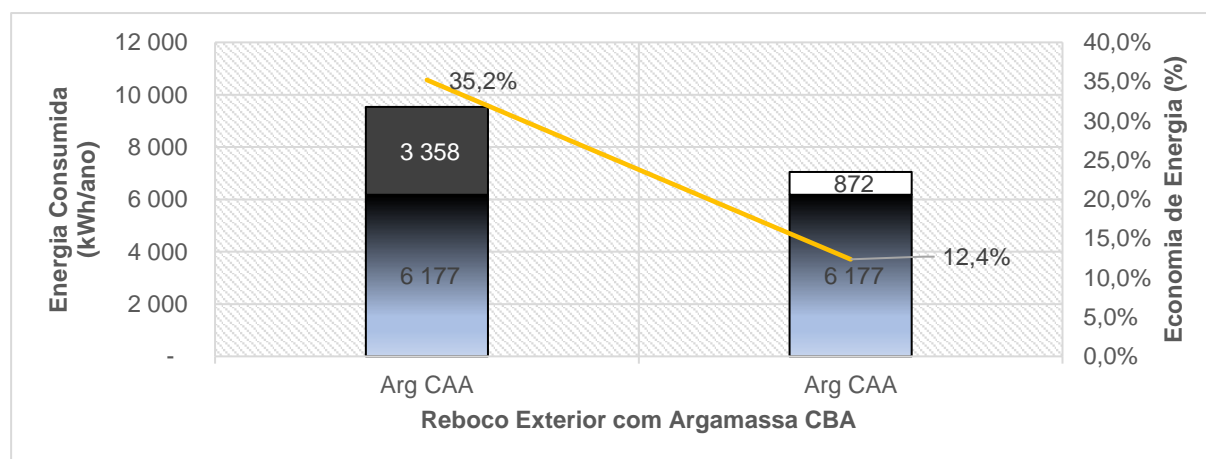


Figura 6.13 – Potencial de economia energética anual do edifício comparado as outras pinturas

A energia consumida anualmente no edifício simulado com um reboco de argamassa de cal aérea e pintura termo cromática seria de 6.177 kWh. O mesmo edifício pintado de preto consumiria 3.358 kWh a mais, ou seja, 9.534 kWh. Essa redução de consumo representaria, portanto, uma economia de 35,2% de energia. Em contrapartida, se o mesmo edifício estivesse pintado de branco – o que é mais comum na região de Lisboa, que apresenta clima quente – a energia consumida

⁵⁹ Cfr. item 6.2.2.

anualmente seria de 7.049 kWh, ou seja, um consumo de 872 kWh a mais do que com pintura termo cromática. Neste último caso, o uso do sistema termo cromático, representaria, pois, uma redução de consumo de 12,4%.

6.2.2.2 Reboco exterior com a argamassa CBA

Na figura 6.14, estão apresentadas as necessidades energéticas do edifício simulado com reboco exterior em cimento branco, nas pinturas preta e branca, nos períodos de aquecimento e de arrefecimento.

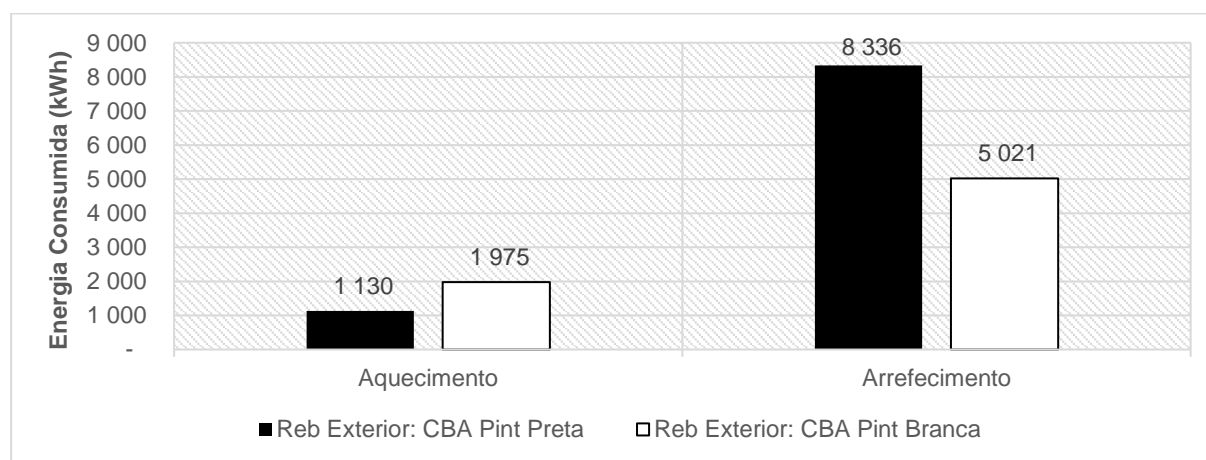


Figura 6.14 – Consumos de energia no edifício no período de aquecimento e arrefecimento

Da figura 6.14, observa-se que a variação do tipo de argamassa pouco interferiu no cenário:

- O consumo energético da edificação com pintura termo cromática continuou a ser muito superior na estação de arrefecimento (8.336 kWh / 5.021 kWh) do que na estação de aquecimento (1.130 kWh / 1.975 kWh).
- No período de aquecimento, houve maior consumo de energia quando o edifício se encontrava pintado na cor branca (1.975 kWh), enquanto que, na estação de arrefecimento, a situação também se inverteu e o consumo foi maior no edifício pintado preto (8.336 kWh).
- No ano, o consumo de energia no interior do edifício foi maior no sistema de pintura preta (9.466 kWh/ano) do que no sistema de pintura branca (6.996 kWh/ano).

Tratando-se de pintura termo cromática, o potencial económico no mesmo edifício com reboco em cimento branco nas envolventes exteriores está retratado na figura 6.15, por estação climática:

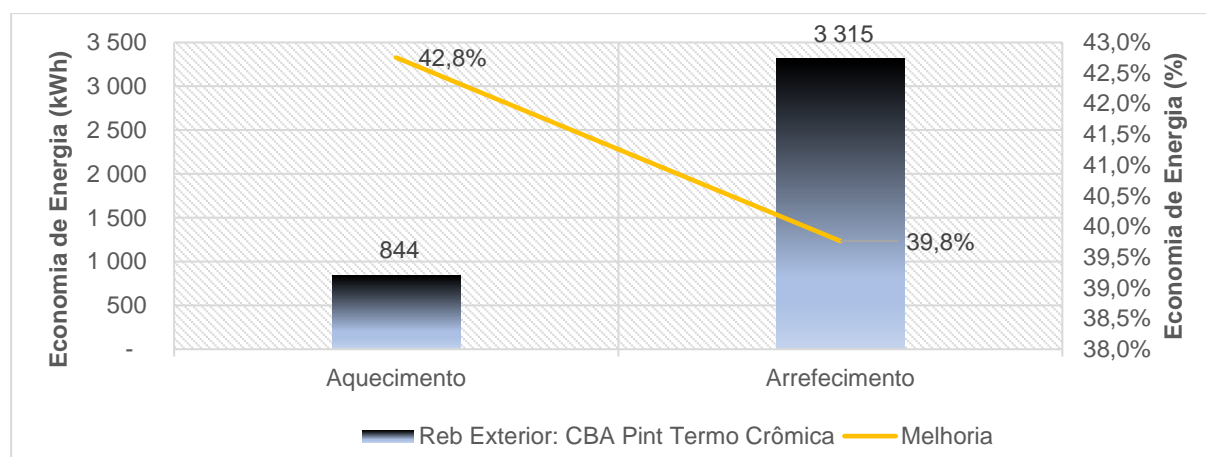


Figura 6.15 – Potencial de economia energética no edifício por período

A figura 6.15 evidencia que o sistema de pintura termo cromática proporcionaria ao mesmo modelo de edifício, em média, uma economia de 844 kWh durante a estação de aquecimento e de 3.315 kWh na estação de arrefecimento. Em termos de percentagens, a poupança energética seria de 42,8% na estação de aquecimento, e, na estação de arrefecimento, de 39,8%, quando comparado aos referenciais inicialmente estipulados⁶⁰.

Na figura 6.16, indica-se o potencial económico da pintura termo cromática no mesmo edifício, agora sob a ótica anual:

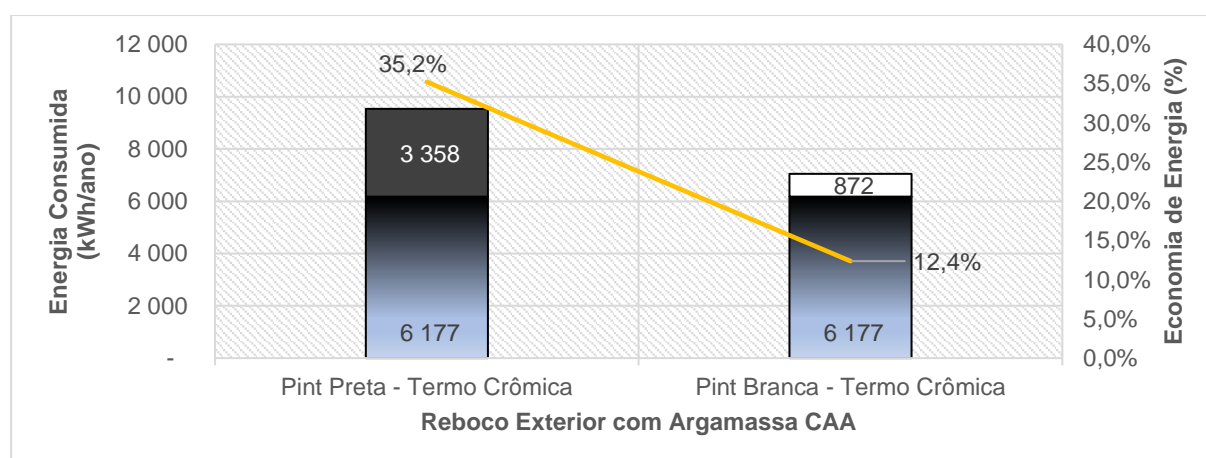


Figura 6.16 – Potencial de economia energética do edifício comparado as outras pinturas

Os resultados não destoam da simulação com a argamassa CAA. O gráfico evidencia que a energia consumida anualmente no edifício simulado com um reboco de argamassa de cimento branco e pintura termo cromática seria de 6.151 kWh. O mesmo edifício pintado de preto consumiria 3.315 kWh a mais, ou seja, 9.466 kWh. Tal redução de consumo representaria uma economia de 35% de energia. De outro lado, se o mesmo edifício estivesse pintado de branco, a energia consumida anualmente seria de 6.996 kWh, ou seja, 844 kWh a mais de consumo do que com a pintura termo

⁶⁰ Cfr. item 6.2.2.

cromática aplicada nas mesmas condições. Nessa perspectiva, a redução de consumo representaria uma economia de 12,1%.

6.2.2.3 Reboco exterior com a argamassa CBAP

As informações abaixo (figura 6.17) são relativas às necessidades energéticas do edifício simulado com reboco exterior em cimento branco com incorporação de resíduos de madeira, nas pinturas preta e branca, nos períodos de aquecimento e de arrefecimento.

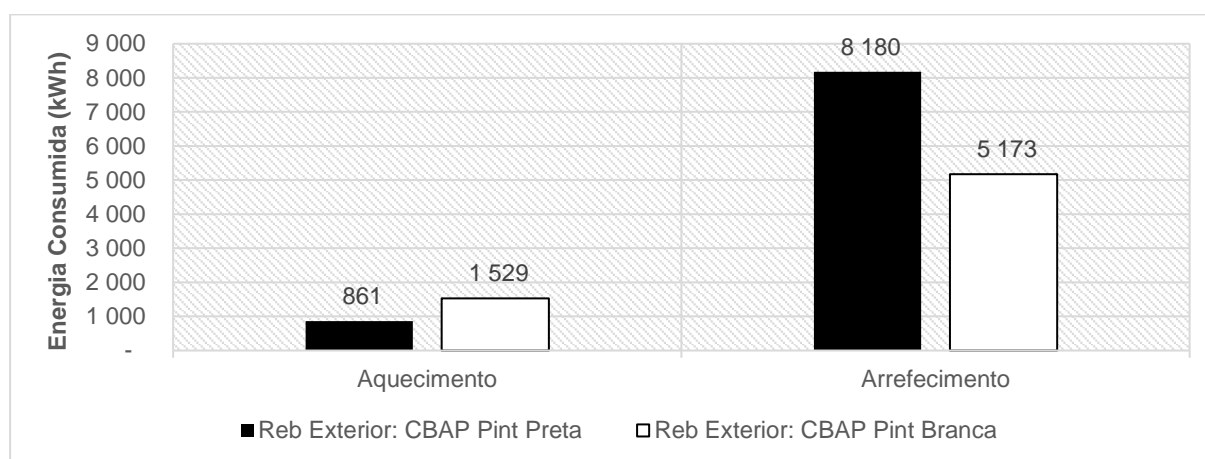


Figura 6.17 – Consumos de energia no edifício no período de aquecimento e arrefecimento

Da figura 6.17, observa-se que:

- O consumo energético da edificação em argamassa de CBAP na estação de arrefecimento foi de 8.180 kWh / 5.173 kWh e na estação de aquecimento de 861 kWh / 1.529 kWh, o que resulta na maior diferença entre os consumos energéticos das estações de inverno e verão, quando comparado aos outros dois tipos de argamassas. A diferença mais significativa ocorreu devido ao menor consumo energético no período de inverno. A justificativa encontra-se na condutibilidade térmica da argamassa de CBAP, que dificulta a passagem ou perda do calor no período de inverno, de modo a contribuir para a manutenção de uma temperatura mais alta no interior do edifício e, por conseguinte, para um menor consumo energético.
- O cenário envolvendo as cores das pinturas continuou o mesmo das demais argamassas: houve maior consumo no interior do edifício com a pintura branca (1.529 kWh) no inverno, enquanto que, no verão, o consumo maior foi verificado quando o edifício estava pintado de preto (8.180 kWh).
- Sob a ótica do consumo anual, a argamassa de CBAP apresentou o menor gasto energético entre os três tipos estudado. Ressalte-se, ainda, que o consumo anual de energia no interior

do edifício continuou maior no sistema de pintura preta (9.042 kWh/ano) e menor no sistema de pintura branca (6.703 kWh/ano).

A seguir, demonstra-se o potencial económico da pintura termo cromática no mesmo edifício com reboco em cimento branco com incorporação de resíduos nas envolventes exteriores, por estação climática:

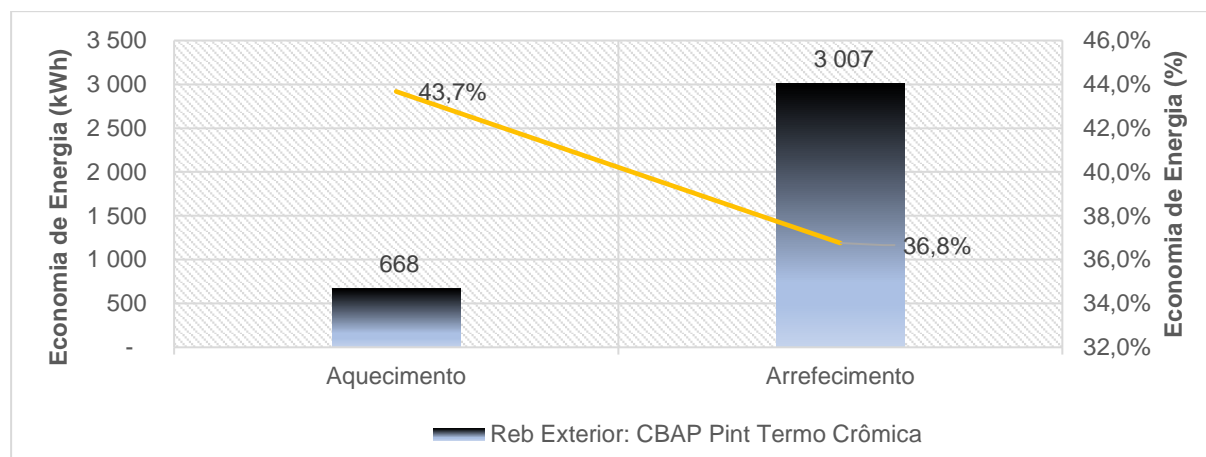


Figura 6.18 – Potencial de economia energética no edifício por período

Da figura 6.18, observa-se que um cenário com pintura termo cromática ofereceria uma economia de 668 kWh durante a estação de aquecimento e de 3.007 kWh na estação de arrefecimento. Em percentagem, a poupança na estação de aquecimento seria de 43,7%. Já na estação de arrefecimento, o percentual seria menor, de 36,8%.

O gráfico na figura 6.19 demonstra o potencial económico da pintura termo cromática no mesmo edifício, desta vez sob a perspectiva anual:

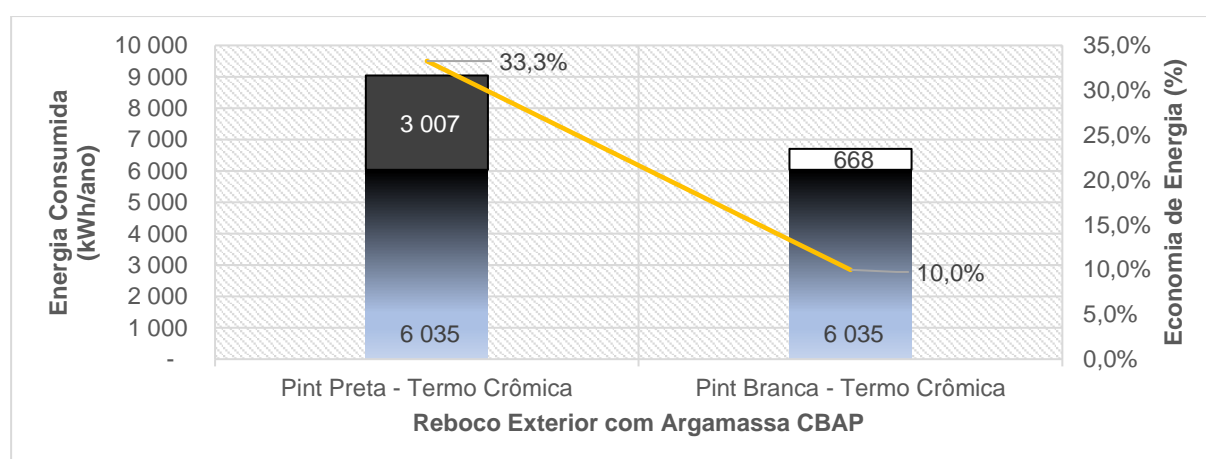


Figura 6.19 – Potencial de economia energética do edifício comparado as outras pinturas

A energia consumida anualmente no edifício simulado com reboco exterior em argamassa de cimento branco com incorporação de resíduos de madeira e pintura termo cromática seria de 6.035

kWh. O mesmo edifício pintado de preto consumiria 3.007 kWh a mais, ou seja, 9.042 kWh. Essa redução de consumo representaria uma economia de 33,3% de energia. Em contrapartida, se o mesmo edifício estivesse pintado de branco, a energia consumida anualmente seria de 6.703 kWh, ou seja, 668 kWh a mais de consumo do que com a pintura termo cromática aplicada nas mesmas condições. Nessa perspectiva, a redução de consumo representa uma poupança de 10%.

6.2.2.4 Síntese dos resultados das necessidades energéticas

As figuras 6.20 e 6.21 apresentam uma síntese, separada por tipo de argamassa, dos resultados encontrados na análise das necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento dos modelos de edifício em estudo, quando empregado o sistema de pintura termo cromática nas fachadas exteriores.

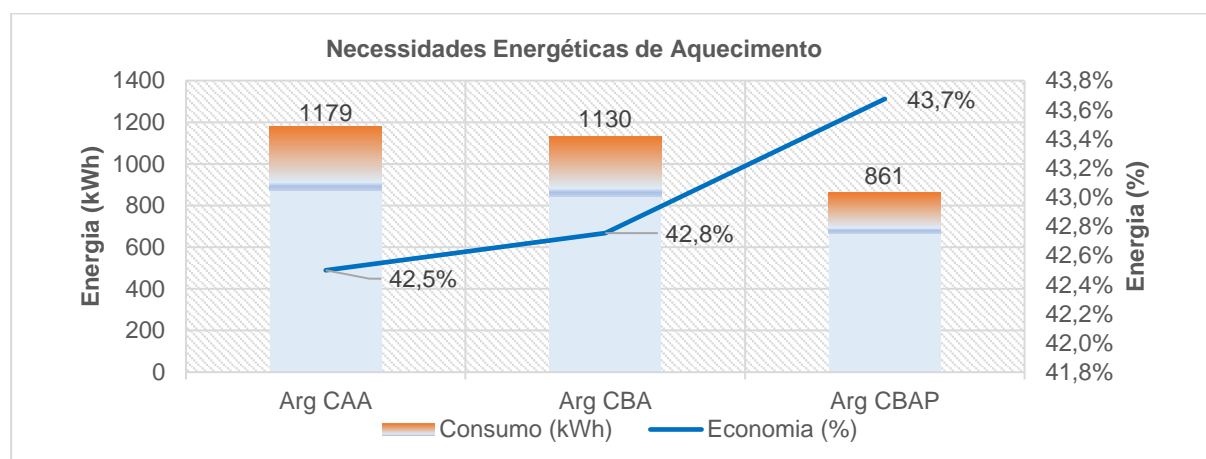


Figura 6.20 – Pintura termo cromática nas diferentes argamassas – inverno

No que concerne ao período de aquecimento, a linha de economia, retratada em percentagem, apresentou acentuado acríve na argamassa com resíduos de madeira. Conforme já asseverado⁶¹, o motivo é a resistência oferecida por esse tipo de argamassa à perda de calor, o que ajuda a manter a temperatura do edifício alta e diminui as necessidades de aquecimento no interior do edifício durante o inverno. Não se olvide que, na referida estação do ano, as temperaturas na superfície do edifício não atingem os 31°C, de modo a manter a sua cor preta e, por consequência, potencializar a absorção de energia solar.

Destarte, a argamassa de cimento branco com resíduos de madeira, quando associada à pintura termo cromática, é o compósito que apresenta os melhores resultados energéticos para o período de inverno. Ostentou o menor consumo de energia na estação (861 kWh) e a maior percentagem de economia energética (43,7%) entre as três argamassas estudadas.

⁶¹ Cfr. item 6.2.2.3.

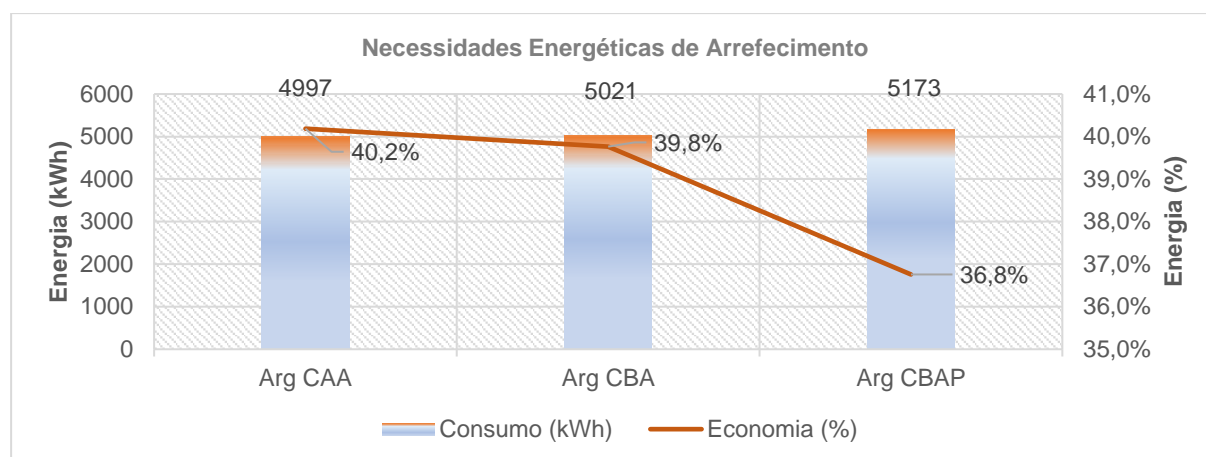


Figura 6.21 – Pintura termo cromática nas diferentes argamassas – verão

Quando analisado período de arrefecimento, o cenário mudou. A argamassa de cimento branco com resíduos de madeira associada à pintura termo cromática é a solução que apresenta os piores resultados energéticos na estação. Do gráfico, verifica-se que a argamassa de CBAP apresentou o maior consumo de energia no período (5.173 kWh) e a menor percentagem de economia (36,8%) entre as três argamassas estudadas. Observa-se, inclusive, um acentuado declive na linha de percentagem económica nessa argamassa.

A justificativa para esse fenómeno é que, apesar de, no verão, teoricamente o meio exterior apresentar temperaturas mais elevadas do que as do interior do edifício, a entrada de energia solar, principalmente pelas janelas, o acúmulo de calor por outras envolventes e os ganhos internos do edifício, acabam por tornar a temperatura interna superior àquela do meio externo. Nessa situação, a menor condutibilidade térmica da argamassa de CBAP dificulta a perda desse calor para o meio exterior, de modo a manter a temperatura interna do edifício alta e aumentar as necessidades energéticas de arrefecimento do edifício no verão.

A seguir, figura 6.22 e 6.23, analisa-se os resultados das necessidades energéticas anuais de cada tipo de argamassa associada ao sistema de pintura termo cromática, em comparação gráfica, primeiro com a pintura preta, depois com a branca, no modelo de estudo.

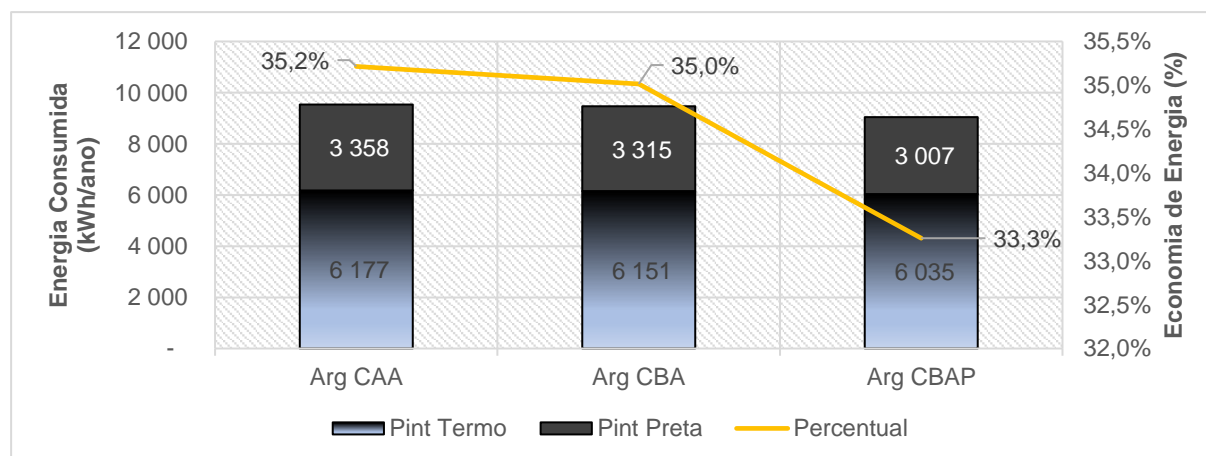


Figura 6.22 – Necessidades energéticas anuais das argamassas – Pinturas termo cromáticas e pinturas pretas

Examinando os desempenhos das argamassas dentro do universo de pinturas preta e termo cromática, a argamassa CAA com pintura termo cromática diminui o consumo energético da edificação em 3.358 kWh, a CBA termo cromática reduz em 3.315 kWh e a CBAP termo cromática economiza apenas 3.007 kWh, quando comparados os mesmos tipos de argamassas associados ao sistema de pintura preta. Por decorrência lógica, em termos de redução percentual, a argamassa de CBAP com pintura termo cromática apresenta a pior redução de consumo energético em relação ao sistema de pintura preta (33,3%). Destaque-se que a argamassa de CAA com pintura termo cromática exibe o melhor percentual de redução de gasto energético em relação ao sistema de pintura preta (35,2%).

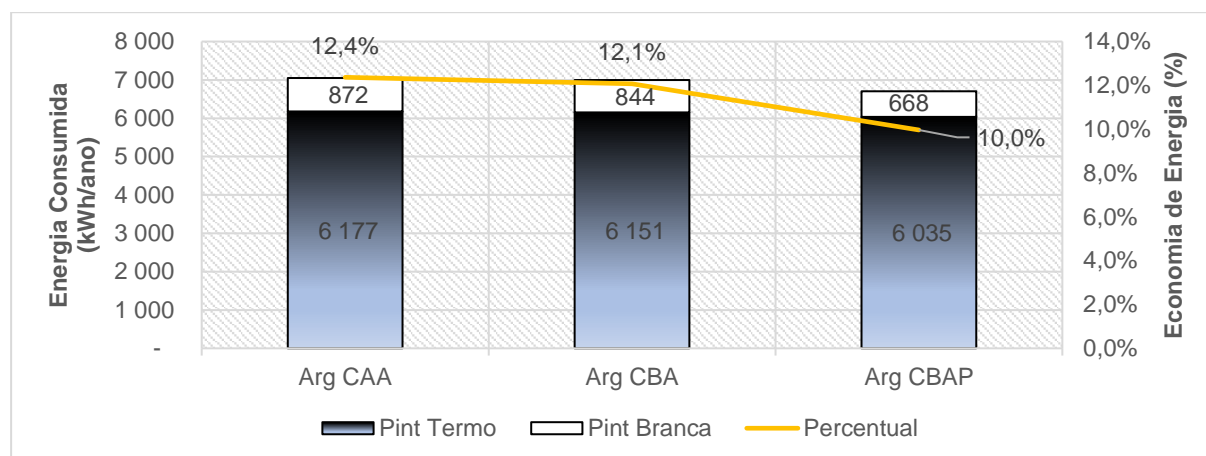


Figura 6.23 – Necessidades energéticas anuais das argamassas – Pinturas termo cromáticas e pinturas brancas

Na comparação dos sistemas de pintura branca e termo cromática, a argamassa CAA com pintura termo cromática diminui o consumo energético da edificação em 872 kWh, a CBA termo cromática reduz em 844 kWh e a CBAP termo cromática economiza apenas 668 kWh, quando comparados os mesmos tipos de argamassas associados ao sistema de pintura branca. Igualmente por lógica, em termos de redução percentual, a argamassa de CBAP com pintura termo cromática apresenta a pior redução de consumo energético em relação ao sistema de pintura branca (10%). Destaque-se que, de novo, a argamassa de CAA com pintura termo cromática exibe o melhor percentual de redução de gasto energético em relação ao sistema de pintura preta (12,4%).

Contudo, independente do desempenho, no comparativo aos outros sistemas de pintura, dentre todos os tipos de argamassas e sistemas de pintura nelas aplicados, a argamassa de cimento branco com resíduos de madeira associada à pintura termo cromática é a solução que apresenta os menores consumos energéticos anuais (6.035 kWh), quando confrontada às argamassas de cimento branco (6.151 kWh) e de cal aérea (6.177 kWh). Ressalve-se, contudo, que as diferenças entre elas são muito pequenas em perspectiva de gasto anual – 116 kWh e 142 kWh, respectivamente.

No lapso temporal de um ano, independente do tipo de argamassa, em um cotejo entre sistemas de pintura, a redução energética produzida pelo uso da pintura termo cromática em substituição à pintura branca é menor do que a encontrada no caso de substituição à pintura preta. Enquanto no primeiro gráfico, a diferença girou em torno dos 30%, no segundo restringiu-se à casa dos

10%. Isso ocorre porque o maior ponto de desempenho energético da pintura termo cromática é o período de arrefecimento, justamente o mesmo que o do sistema de pintura branca. Assim, a diferença entre esses dois sistemas de pintura restringe-se ao período de aquecimento, quando a pintura termo cromática encontra-se na cor preta. Ocorre que a economia energética proporcionada pela pintura preta no inverno não é tão grande quanto a ocasionada pela pintura branca no verão⁶².

Por fim, cabe ressaltar que esses percentuais de economia energética alcançados podem ainda ser melhores, a depender da localidade do edifício. Estudo em um modelo simples de escritório de 30 m², realizado para a localidade de Haikou, na China, alcançou, por exemplo, uma melhoria de 48,75% com o uso de tinta termo cromática (Zheng et al., 2014).

⁶² Cfr. itens 6.2.2.1, 6.2.2.2 e 6.2.2.3.

7 Discussões e conclusões

Neste capítulo realiza-se uma discussão crítica do presente trabalho, considerando não somente os resultados obtidos nos capítulos anteriores, mas também as dificuldades e perplexidades encontradas ao longo do processo de sua construção. Com o escopo de facilitar a compreensão acerca de tais reflexões, as conclusões e discussões deste capítulo estão divididas em duas partes: a primeira relativa à campanha experimental e a segunda referente à análise numérica. Por último, são feitas considerações finais, abordando as potencialidades atuais e as possibilidades de desenvolvimento do tema em trabalhos futuros.

7.1 Avaliação experimental

A campanha experimental deste trabalho começou com o processo de idealização da tinta termo cromática. Nesse processo, o pigmento termo cromático de coloração preta foi adicionado a soluções de verniz mate incolor de base não-aquosa. Dois produtos foram testados: um menos viscoso, de uso exterior, e outro mais, de uso em interiores. Embora a mistura tenha se consolidado nos dois produtos, o escolhido foi o verniz para uso em interiores, na medida em que revelou uma mistura mais pastosa e aderente ao suporte, quando comparada à solução de uso exterior.

Vale pontuar que, após a escolha definitiva do verniz para uso em interiores, constatou-se um amarelecimento na superfície dos provetes, visível basicamente quando na versão de cor clara. Isso ocorreu devido à mistura termo cromática (verniz + pigmentação) ainda não ter alcançado o patamar ideal de qualidade. Há, dessa maneira, margem para o desenvolvimento de uma mistura mais adequada para o uso do pigmento termo cromático. Não se olvide que a incipiência do presente trabalho objetiva demonstrar os potenciais energéticos do pigmento e, portanto, pesquisas futuras poderão desenvolver soluções mais comerciais para o produto.⁶³ De qualquer maneira, isso não prejudica as conclusões já alcançadas acerca do bom funcionamento e utilidade da pintura termo cromática.

Vale destacar, ainda, que a fotossensibilidade do pigmento termo cromático à luz solar, devidamente especificada no rótulo do produto, não prejudicou o presente trabalho, na medida em que o escopo principal desta pesquisa é a avaliação experimental e numérica dos seus potenciais energéticos. Todavia, não se pode negligenciar que, novamente para fins comerciais, uma pintura termo cromática de fachada deve ser desenvolvida sem características fotossensíveis, porquanto inevitável a exposição da superfície externa de um edifício à luz solar.

Passado à fase de preparação das argamassas, a principal dificuldade enfrentada foi, na argamassa de CBAP, ajustar o traço com o resíduo de madeira. Assim como Martinho (2017), em uma primeira tentativa, foi realizado um traço em massa de 1:3 (ligante:agregado), com 30% de substituição

⁶³ No sentido do desenvolvimento de uma base de dados destinada à formulação genérica de uma tinta aquosa de fachada, confira Gil (2013).

do agregado. Porém, a resistência mecânica alcançada não foi suficiente para manusear a argamassa após à secagem devido ao produto utilizado ser pré-doseado. Por isso, o traço dessa argamassa foi ajustado para 1:1,5 (ligante:agregado), mantendo-se os 30% de substituição, de modo a permitir o adequado manuseio da argamassa.

Durante o processo de amassadura das argamassas, o esperado era que a relação água/ligante fosse próxima de 2:1 na argamassa de cal aérea e de 1:2 nas argamassas de cimento branco. Porém, essas quantidades de água não foram necessárias para nenhuma das duas argamassas, porquanto sua consistência/trabalhabilidade já haviam alcançado bons patamares. O fácil alcance desses resultados foi atribuído ao superplastificante, redutor de água. Mais além, as quantidades de água utilizadas nas argamassas de CAA e CBA poderiam ter sido ainda menores, porquanto os percentuais de espalhamento superaram as expectativas. Por sua vez, o alto índice de trabalhabilidade gerou uma maior porosidade na argamassa de CBA.

Quanto aos testes no estado endurecido, algumas surpresas ocorreram no ensaio de resistência mecânica. Embora, em regra, as argamassas de cal aérea ganhem resistência quando entram em contato direto com o ar – por efeito da carbonatação, não era esperado que essa resistência superasse a encontrada no cimento branco após 120 dias de idade. A justificativa provável para esse fenômeno está relacionada ao maior índice de trabalhabilidade obtido pela argamassa CBA – 90%⁶⁴. Assim, em última análise, a razão da menor resistência da argamassa CBA está tanto no volume de vazios como na utilização de um produto pré-doseado de fábrica. Tanto é verdade, que nos testes de porosidade aberta, comprovou-se que, ao contrário do esperado, a quantidade de poros da argamassa CAA foi menor do que a da argamassa CBA e de CBAP.

De igual maneira, não era expectável que a argamassa com incorporação de resíduos de madeira não alcançasse a resistência mínima à compressão estabelecida na norma⁶⁵. Apesar de ser notório que, quanto maior a quantidade de resíduos de madeira, maior a quantidade de vazios na argamassa, no caso em tela, o traço da argamassa CBAP foi ajustado justamente para reduzir o volume poros e, por conseguinte, garantir a resistência necessária ao revestimento. Contudo, a redução do traço não foi suficiente, já que testes comprovaram que sua porosidade chegou a 45,4%⁶⁶.

Relativamente aos ensaios de condutibilidade térmica realizados nas argamassas em estado endurecido, vale destacar o reduzido valor de condutibilidade obtido na argamassa de melhoramento térmico com resíduos de madeira ($\lambda = 0,14 \text{ W/(m.K)}$). Silva (2017) já havia conseguido valores com decimais semelhantes ao utilizar argamassa de cal hidráulica com resíduos de madeira ($\lambda = 0,12 \text{ W/(m.K)}$). Estudos futuros poderão continuar a desenvolver argamassas com incorporação de resíduos de madeira de modo a permitir o manejo de suas funcionalidades físicas e térmicas de acordo com necessidades específicas.

Os ensaios de coesão, dureza e erosão por desgaste sobre as superfícies das amostras com e sem pintura correram dentro da normalidade, com resultados de acordo com o previsto na literatura. Assim, as argamassas sem acabamento demonstraram menores índices de coesão (-50%) e dureza

⁶⁴ Cfr. item 5.3.1.

⁶⁵ Cfr. NP EN 998-1 (2010).

⁶⁶ Cfr. item 5.3.1.

(-10%) e maior suscetibilidade à erosão (-90%) do que as argamassas com acabamento, porquanto não possuíam nenhuma camada de proteção. Dentre os diferentes sistemas de pintura ora estudados, as argamassas que receberam algum tipo de pintura obtiveram resultados semelhantes entre si.

Quanto aos ensaios da pintura termo cromática, os resultados atenderam perfeitamente as expectativas. Na câmara climática, foi possível constatar, no aquecimento, a alteração de coloração escura para clara e, no arrefecimento, o retorno da cor clara à escura, justamente na faixa de temperatura especificada pelo fabricante. Já no ensaio de termografia, além de, mais uma vez, comprovar-se a funcionalidade da mudança de cor, foi possível verificar que as cores escuras absorveram mais calor do que as claras. A confirmação dessas expectativas foi necessária para o seguimento dos estudos, nomeadamente, com a posterior análise numérica das simulações térmicas no programa EnergyPlus.

Por fim, neste trabalho, optou-se pelo uso da cor branca no fundo dos provetes termo cromáticos, com o escopo de maximizar o contraste de cores em função das variações de temperatura. Ocorre que os resultados do ensaio de termografia evidenciaram que o fundo branco prejudicou a absorção térmica do pigmento termo cromático preto, mesmo com o uso de duas demãos dessa tinta termo cromática.

7.2 Avaliação numérica

A avaliação numérica foi realizada pelo programa EnergyPlus, a partir do projeto de um edifício unifamiliar de 2 pisos, com área total de 238,7 m² e pé-direito de 2,7 m em cada piso. Para tanto, estipulou-se que as envolventes exteriores seriam: reboco interior e exterior; alvenaria dupla de tijolo cerâmico separada por uma camada de isolamento térmico de XPS (3 cm); cobertura em betão armado, camada de forma e isolamento térmico de XPS (4 cm); janelas de vidro duplo (6 mm) sem sombreamento direcionadas ao Sul e ao Norte. Cabe, ainda, lembrar que a localidade escolhida para o edifício foi a região de Lisboa e o período de simulação definido em um ano.

No total, foram realizadas seis diferentes simulações no edifício. As únicas diferenças entre elas foram as argamassas de revestimento exterior e os tipos de pintura. Dos revestimentos escolhidos, todos apresentavam a espessura de 3 cm, variando o material entre argamassa de cal aérea/areia, cimento branco/areia e cimento branco/areia/resíduos, cada qual especificado no programa com as propriedades pré-definidas experimentalmente. Já o acabamento foi diferenciado em dois sistemas de pintura, branca e preta, sendo suas propriedades obtidas na literatura. O propósito, portanto, foi isolar os dados energéticos obtidos em cada simulação e utilizá-los em consonância com os comportamentos e resultados da pintura termo cromática, previamente obtidos na campanha experimental.

As condições internas foram programadas para estar entre os 18°C e os 25°C de temperatura e entre os 50% e 65% de humidade relativa do ar. Ademais, considerou-se que, em uma pintura termo cromática, o revestimento exterior estaria na cor branca na estação de verão e na cor preta na estação de inverno. Nesse contexto, a análise se restringiu às informações relativas às trocas térmicas

realizadas nas envolventes do edifício e às necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento em seu interior.

Especificamente quanto as trocas térmicas e independente da cor ou da argamassa utilizadas, constatou-se que, principalmente em razão do clima quente da cidade de Lisboa, as perdas energéticas do modelo de edifício no período de aquecimento foram muito superiores aos seus ganhos energéticos no período de arrefecimento. Na comparação de desempenho dos sistemas de pintura, o de cor preta teve perdas menores que o de cor branca na estação de inverno, mas apresentou ganhos maiores que a pintura branca na estação de verão.

Considerando as variações pré-estabelecidas de cor da pintura termo cromática em função das estações do ano, foi possível estabelecer, a depender do tipo de argamassa, uma melhoria entre 13,8% a 14,9% nas perdas energéticas do edifício no período de aquecimento e entre 25,1% a 30,2% nos ganhos energéticos no período de arrefecimento, sempre quando comparados aos sistemas de cor oposta. Nesse contexto, a argamassa com incorporação de resíduos foi a que apresentou os menores valores de trocas energéticas e, portanto, o melhor desempenho para o sistema de pintura termo cromática estudada.

Há, inclusive, outros estudos demonstrando que o uso de pigmentos pretos termo cromáticos em membranas têxteis brancas para fachadas, durante o verão, diminui em 7,7% as trocas térmicas através da membrana cromática, quando há a mudança da cor preta para a branca (Neves, 2001).

As simulações de necessidades energéticas mediram o consumo de energia no interior da edificação. Em consonância com os resultados encontrados, foi possível concluir que: (I) houve maior dispêndio energético no período de arrefecimento que no período de aquecimento; (II) existiu maior consumo anual quando o edifício estava pintado na cor preta do que na cor branca; e (III) destacando as estações climáticas, no período de inverno, o maior gasto energético ocorreu quando o edifício estava pintado de branco, já no verão, quando estava pintado de preto.

Nessa perspectiva, no lapso temporal de um ano, a pintura do edifício com um produto termo cromático proporcionaria uma economia percentual entre 33,3% a 35,2%, quando comparado a um sistema de pintura preta; e entre 12,4% a 10%, quando comparado a um sistema de pintura branca. Conforme o esperado, a argamassa de cimento branco com resíduos de madeira apresentou o menor consumo energético.

7.3 Apreciação geral

De modo global, o presente estudo foi bastante produtivo. Ele viabilizou a fabricação de três tipos de argamassas de revestimento, bem como a de uma tinta termo cromática, as quais foram avaliadas isolada e conjuntamente em suas aplicações, tendo por referenciais comparativos dois outros sistemas de pintura, nas cores branca e preta. A partir daí, por meio de ensaios experimentais e de simulações numéricas, foi viável o alcance das conclusões almejadas. Dessa maneira, pode-se afirmar que os objetivos inicialmente propostos foram alcançados.

Por outro lado, ainda há muito o que se estudar sobre a questão. Como não se trata de tema trivial, o presente estudo acadêmico revelou-se incipiente, mas suficiente para cumprir o seu papel de provar o grande potencial de uma pintura termo cromática. O aprofundamento das pesquisas a fim de se obter um produto de nível comercial parece uma consequência inevitável.

No que concerne às argamassas, restou comprovado que, para a localidade de estudo, a de incorporação de resíduos de madeira apresenta benefícios energéticos, quando comparada as outras duas analisadas. Esses benefícios revelam-se ainda maiores sob a ótica da sustentabilidade, já que sua composição inclui a reciclagem de resíduos. Embora não tenha sido o objetivo central do presente estudo, tratando-se de uma argamassa de revestimento e, portanto, multifuncional, o aprofundamento de pesquisas acerca de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas também é de grande valia para o meio ambiente e o mercado energético.

Quanto às tintas termo cromáticas, há mais ponderações. Sob a perspectiva financeira, por exemplo, vale destacar que os custos dos materiais termo cromáticos são altos, o que dificulta a sua disseminação no mercado. Por outro lado, quanto mais difundido e generalizado o seu uso pela indústria da construção, maior o impulso a sua produção que, em larga escala, proporcionará uma redução significativa desses custos (Karlessi et al., 2009). Tanto é verdade que, soluções com base em tintas costumam ter baixo-custo em relação a outros materiais de solução energética da construção civil. Tintas reflexivas, por exemplo, apresentam um custo inferior ao vidro com baixo fator solar.

Além disso, embora os resultados obtidos nesse trabalho sejam excelentes em termos de redução do consumo energético, não se sabe de que forma uma casa que muda de cor conforme a variação de temperatura seria aceita no mercado. Não suficiente, a durabilidade desse tipo de produto ainda não alcançou patamares desejáveis⁶⁷.

Sobre as vantagens da tinta termo cromática, não se pode olvidar que os seus benefícios energéticos alcançam tanto a estação de aquecimento quanto a de arrefecimento. Ademais, esse recurso não gera incompatibilidade com outras soluções de melhoria energética, como vidros com baixos fatores solar, isolamentos térmicos, palas de sombreamento, etc. Além disso, na perspectiva de economia de custos, a aplicação desse tipo de solução somente na cobertura ou paredes dos edifícios com maior exposição solar pode ajudar na viabilização de sua aplicação.

Quanto aos resultados das simulações, destacam-se os dos testes de melhoria energética por estação climática. No modelo de estudo proposto, a adoção do sistema de pintura termo cromática proporcionaria economias de até 40,2% nas necessidades energéticas no período de arrefecimento e de até 43,7% nas necessidades energéticas no período de aquecimento. Para o ano, essa economia poderia chegar a 35,2%. Entretanto, esses altos valores são provenientes de um trabalho com base em tintas de absorção/reflexão opostas no espectro de cores, justamente com o fim de maximizar as potencialidades da tinta termo cromática.

Por fim, deve-se ressaltar que programas simuladores como o EnergyPlus são relevantes na medida em que conseguem executar cálculos complexos e fornecer resultados precisos rapidamente, de maneira quase que simplificada. Todavia, comparações entre valores encontrados nesses tipos de estudos devem ser feitas com parcimônia. Não se pode ignorar que, ante a sofisticação do tema e da

⁶⁷ Cfr. Karlessi et al. (2009) e Sharma et al. (2017).

multiplicidade de fatores influenciadores da questão termo energética, os resultados sempre estarão estritamente condicionados aos referenciais de modelos adotados pelo autor. Em outras palavras, os valores não podem ser comparados em termos absolutos, devendo o leitor sempre analisar criticamente o contexto de cada simulação realizada.

7.4 Trabalhos futuros

O estudo de argamassas com a introdução de resíduos de madeira e de tintas termo cromáticas para a construção civil é relativamente recente. O aprimoramento do conhecimento deve ser uma constante e, no particular, ainda há muito para onde expandir. A seguir, serão enunciados alguns exemplos de estudos, vislumbrados por este autor, considerados importantes para a fomentação da questão de fundo aqui debatida:

- *Avaliação e melhoramento do comportamento mecânico de argamassas de cimento branco com resíduos de madeira;*
- *Otimização de argamassas de resíduos com diferentes granulometrias;*
- *Durabilidade das argamassas de resíduos;*
- *Aplicação de argamassas de resíduos em muretes para simular condições reais de serviço;*
- *Formulação e desenvolvimento de tinta termo cromáticas para fachadas de edifícios;*
- *Análise de absorção e reflexão em tintas termo cromáticas para fachadas e coberturas;*
- *Análise de absorção e reflexão em tintas termo cromáticas com e sem pigmento branco incorporado a mistura;*
- *Durabilidade de tintas termo cromáticas;*
- *Análise de fotossensibilidade de tintas termo cromáticas;*
- *Desenvolvimento de soluções construtivas termo cromáticas para fachadas e telhados de edifícios;*
- *Aplicação de pinturas termo cromáticas no revestimento de coberturas e paredes de edificação sem isolamento térmico para reabilitação térmica de edifícios.*

Referências bibliográficas

- ASTM D 2240. Standard test method for rubber property – durometer hardness. United States: ASTM, 2000.
- AUGUSTO, C.; BRANGANÇA, L.; ALMEIDA, M. Materiais de isolamento térmico de edifícios: para além da energia operacional. In *Euro-ELECS 2015*. Guimarães, Julho de 2015. p. 561-570.
- BERDAHL, P.; BRETZ, S. E. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. *Energy and Buildings*, vol. 25, nº 2, p. 149-158, 1997.
- BRETZ, S.; AKBARI, H. Longterm performance of high-albedo roof coatings. *Energy and Buildings*, vol. 25, nº 2, p. 159-167, 1997.
- BRETZ, S.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. Practical issues for using solar reflective materials to mitigate urban heat islands. *Atmospheric Environment*, vol. 32, nº 1, p. 95-101, 1998.
- BS EN ISO 6946. Building components and building elements: thermal resistance and thermal transmittance: calculation methods. Brussels: CEN, 2017.
- BS EN 1015-3. Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Brussels: CEN, 1999.
- CHENG, V.; NG, E.; GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy*, vol. 78, nº 4, p. 528-534, 2005.
- CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; SIDDIQUE, R. Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste. *Construction and Building Materials*, vol. 123, p. 281-289, 2016.
- COSTA, L. *O uso de argamassas tradicionais e pré-doseadas para impermeabilização em revestimentos exteriores*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2008.
- DESPACHO (extrato) n.º 15793-K/2013. *Diário da República*, nº 234, 3º Suplemento, Série II de 2013-12-03.
- DIAS, I. *Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra: a influência da terra como agregado parcial*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Construção. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- DRDÁCKÝ, M.; LESÁK, J.; NIEDOBA, K.; VALACH, J. Peeling teste for assessing the cohesion and consolidation characteristics of mortar and render surfaces. *Materials and Structures*, vol. 48, nº 6, p. 1947-1963, 2015.
- ERICSSON, K. Co-firing: a strategy for bioenergy in Poland? *Energy*, vol. 32, nº 10, p. 1838-1847, 2007.
- EUSÉBIO, M. *Tintas: características dos constituintes e da película seca*. Lisboa: LNEC, 1985.
- FARIA, P. *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas: contribuição para o estudo da influência dos ligantes*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil – Reabilitação do Património Edificado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2004.
- FARIA, P.; SANTOS, T.; AUBERT, J.-E. Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 28, nº 1, p. 04015085, 2016.
- FLIR SYSTEMS. *ThermaCAM™ B4: datasheet* [Em linha]. Wilsonville, USA, 2005. Consultado a Setembro de 2019. Disponível na WWW: <https://www.topa.de/assets/datasheet-B4.pdf>.

FONTES, T.; FARIA, P.; SILVA, V. Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural com metacaulino e resíduo cerâmico. In *4º Congresso Nacional Construção*. Coimbra, Dezembro de 2012.

FRUTUOSO, A. *Influência de agregados provenientes de RCD e cinzas volantes não-conformes em argamassas de cal aérea*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2014.

GADEA, J.; RODRÍGUEZ, A.; CAMPOS, P. L.; GARABITO, J.; CALDERÓN, V. Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam. *Cement and Concrete Composites*, vol. 32, nº 9, p. 672-777, 2010.

GIL, S. *Criação de uma base de dados destinada à formulação automática de cores para uma tinta de fachadas, aquosa e de formulação genérica, com uma gama nova de pastas corantes de base aquosa*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Março de 2013.

GONÇALVES, H.; GRAÇA, J. *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. Lisboa: Tipografia Peres, Novembro de 2004.

GONÇALVES, L. *Avaliação do desempenho térmico de tintas reflectantes em fachadas por análise termográfica*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Julho de 2014.

HART, J. *A practical guide to infra-red thermography for building surveys*. Garston, Watford: Construction Research Communications Ltd., 1991.

HENRIQUES, F. *Comportamento higrotérmico em edifícios*. Versão 11.5, revisão de 2016. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2016.

HUANG, H.; JIAO, Z.; CHEN, H.; ZHAO, X. Study on ash melting and combustion characteristics of compound biomass pellets. In *2nd International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application*, Changsha, 2010. p. 433-436.

IEA. *Energy Efficiency: Buildings: The global exchange for energy efficiency policies, data and analysis* [Em linha]. Paris, 2018a. Consultado a Setembro de 2019. Disponível na WWW: <http://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings>.

IEA. *Global Energy & CO2 Status Report: The latest trends in energy and emissions in 2018* [Em linha]. Paris, 2018b. Consultado a Setembro de 2019. Disponível na WWW: <http://www.iea.org/geco>.

KALEMBKIEWICZ, J.; CHMIELARZ, U. Ashes from co-combustion of coal and biomass: new industrial wastes. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 69, p. 109-121, 2012.

KARLESSI, T.; SANTAMOURIS, M.; APOSTOLAKIS, K.; SYNNEFA, A.; LIVADA, I. Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures. *Solar Energy*, vol. 83, nº 4, p. 538-551, 2009.

LEAL, M. *Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado*. Dissertação de Mestrado em Construção Civil, Instituto Politécnico de Setúbal, Dezembro de 2012.

LIMA, J.; CORREIA, D.; FARIA, P. Rebocos de terra: influência da adição de gesso e da granulometria da areia. In *II Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento*, Coimbra, Junho de 2016.

MARGALHA, G. *Argamassas*. Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património. Universidade de Évora, 2011.

MARQUES, M.; RODRIGUES, M. *Tintas, vernizes e revestimentos por pintura para a construção civil*. 3ª edição. Lisboa: LNEC, 2000.

MARTINHO, P. *Análise do comportamento de argamassas com a incorporação de wood pellets*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2017.

MATOS, M. *Estudo da incorporação de estearatos em tintas de forma a aumentar a sua impermeabilidade à água*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2008.

MELO, H. *Caracterização experimental do comportamento físico de argamassas de desempenho térmico melhorado*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2014.

MENDONÇA, P. *Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005.

NBR 15220-2. Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

NEVES, J. Use of thermochromic black pigments on white textile or coating materials, to save energy in buildings or other closed spaces. *Word Intellectual Property Organization*, nº WO 01/92633 A1, May 2001.

NIZA, S. *Energia nos edifícios*. Notas de Aula de Gestão de Energia, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2016. Consultado a Setembro de 2019. Disponível na WWW: fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689468335558988.

NP EN 196-1. Métodos de ensaio de cimentos – Parte 1: Determinação das resistências mecânicas. Monte da Caparica: IPQ, 2017.

NP EN 197-1. Cimento – Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes. Monte da Caparica: IPQ, 2012.

NP EN 459-1. Cal de construção – Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade. Monte da Caparica: IPQ, 2015.

NP EN 459-2. Cal de construção. Parte 2: Métodos de Ensaio. Monte da Caparica: IPQ, 2011.

NP EN 933-1. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 1: Método de Peneiração. Monte da Caparica: IPQ, 2000.

NP EN 971-1. Tintas e vernizes, terminologias e definições para produtos de pintura: Parte 1: termos gerais. Monte da Caparica: IPQ, 1997.

NP EN 998-1. Especificações de argamassas para alvenarias. Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores. Monte da Caparica: IPQ, 2010b.

NP EN 1097-3. Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios. Monte da Caparica: IPQ, 2002.

NP EN 1936. Métodos de ensaio para pedra natural – Determinação das massas volúmicas real e aparente das porosidades total e aberta. Monte da Caparica: IPQ, 2008.

NP EN 13139. Agregados para Argamassa. Monte da Caparica: IPQ, 2002.

PEREIRA, T. *Optimização das características de humedecimento e secagem de argamassas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2008.

PEREZ, G.; ALLEGRO, V. R.; CORROTO, M.; PONS, A.; GUERRERO, A. Smart reversible thermochromic mortar for improvement of energy efficiency in buildings. *Construction and Building Materials*, vol. 186, p. 884-891, 2018.

PIECADE, A. C.; RODRIGUES, A.; RORIZ, L. *Climatização em edifícios: envolvente e comportamento térmico*. 1ª edição. Amadora: Edições Orion, 2000.

PINEWELLS. *Premium pellets* [Em linha]. Consultado a Setembro de 2019. Disponível na WWW: <https://pinewells.com/pt/home>.

PORTARIA n.º 349-D/2013. *Diário da República*, nº 233, 2º suplemento, Série I de 2013-12-02.

RATO, V. *Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil – Reabilitação do Património Edificado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2006.

RODRIGUES, A.; PIECADE, A.; BRAGA, A. *Térmica de edifícios*. 1ª edição. Amadora: Edições Orion, Março de 2009.

RODRIGUES, M.; EUSÉBIO, M. *Tintas aquosas para paredes exteriores de edifícios: avaliação da resistência à alteração de cor. Relatório 152/2009 – NMO*. Estudo realizado no âmbito do Plano de Investigação Programada do LNEC para 2009-1012. [Em linha]. Lisboa: LNEC, Maio de 2009. Consultado a Maio de 2018. Disponível na WWW: <http://repositorio.lnec.pt:8080/jspui/handle/123456789/16417>.

RODRIGUES, M.; EUSÉBIO, M.; RIBEIRO, A. *Revestimentos por pintura: defeitos, causas e reparação*. 2ª edição. Lisboa: LNEC, 2005.

ROSENFELD, A.; DING, B.; AKBARI, H.; BRETZ, S. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings*, vol. 22, n. 3, p. 255-265, 1995.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, vol. 85, nº 12, p. 3085-3102, 2011.

SANTOS, P.; MATIAS, L. Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. 2ª edição. Lisboa: LNEC, 2006.

SEKER, D. Evaluation of exterior building surface roughness degrees by photogrammetric methods. *Building and Environment*, vol. 31, nº 4, p. 393-398, 1996.

SFXC. *Thermochromic inks*. [em linha]. Consultado a Setembro de 2019a. Disponível na WWW: <https://www.sfxc.co.uk/collections/thermochromic-paint>.

SFXC. *Thermochromic pigment* [em linha]. Consultado a Setembro de 2019b. Disponível na WWW: <https://www.sfxc.co.uk/collections/thermochromic-pigment>.

SHARMA, M.; WHALEY, M.; CHAMBERLAIN, J.; OSWALD, T.; SCHRODEN, R.; GRAHAM, A.; BARGER, M.; RICHEY, B. Evaluation of thermochromic elastomeric roof coatings for low-sloperooofs. *Energy and Buildings*, vol. 155, p. 459-466, 2017.

SILVA, A. *Impacto de argamassas com pellets de madeira no desempenho energético de um edifício residencial – modelação numérica e experimental*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Construção. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2017.

SILVA, P. *Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em VisualDOE*. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade do Minho, 2006.

SOUSA COUTINHO, J. *Ciência de Materiais – 1ª Parte: agregados para argamassas e betões* [Em linha]. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002. Consultado a Setembro de

2019. Disponível na WWW: http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/cienciadosmateriais/apontamentos/teorica_20022003/JSC_105a125.pdf.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*, vol. 39, nº 11, p. 1167-1174, 2007.

U. S DEPARTMENT OF ENERGY. *EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation: Getting Started* [em linha]. Orlando, USA, March 27, 2015a. Consultado a Setembro de 2019. Disponível na WWW: https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.1.0/GettingStarted.pdf.

U. S DEPARTMENT OF ENERGY. *EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation: Input Output Reference* [em linha]. Orlando, USA, March 27, 2015b. Consultado a Setembro de 2019. Disponível na WWW: https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.9.0/InputOutputReference.pdf.

VARGAS, D. *Argamassas de cal aérea e metacaulino: A influência do traço e da cura*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Dezembro de 2013.

VEIGA, M. *Comportamento de argamassas de revestimento de paredes: contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 1998.

VEIGA, M. “As argamassas na conservação”. In *1^{as} Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro: avaliação e reabilitação das construções existentes*, Aveiro, 2003.

VEIGA, R.; FRAGATA, A.; VELOSA, A.; MAGALHÃES, A. e MARGALHA, G. Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 4, p. 177-195. 2010.


YE, X.; LUO, Y.; GAO, X.; ZHU, S. Design and evaluation of a thermochromic roof system for energy saving based on poly (N-isopropylacrylamide) aqueous solution. *Energy and Buildings*, vol. 48, p. 175-179, 2012.

ZHENG, S.; XUB, Y.; SHEN, Q.; YANG, H. Preparation of thermochromic coatings and their energy saving analysis. *Solar Energy*, vol. 112, p. 263-271, 2015.

Anexos

Anexo A – Fichas técnicas

I – Argamassa de Cimento branco

	<p align="center">DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO</p> <p align="center">N.º NX2B - 01</p>	<p>CÓDIGO: DSI.76.0 EDIÇÃO: 00 DATA: 28-06-2013</p>
---	--	---



1. Código de identificação único do Produto -Tipo:

Referência Interna: Argamassa de Reboco Branco (NX2B)
 Argamassa Industrial de Reboco, (GP), uso em interiores.

2. Número do tipo, do lote ou da série, ou quaisquer outros elementos que permitam a identificação do produto de construção, nos termos do n.º 4 do artigo 11.º:

Lote (ostenta a identificação do produto)

3. Utilização ou utilizações previstas do produto de construção, de acordo com a especificação técnica harmonizada aplicável, tal como previsto pelo fabricante:

EN 998-1:2010 – Especificações de argamassas para alvenarias. Parte 1: Argamassas para reboco interiores e exteriores.

4. Nome, designação comercial ou marca comercial registada e endereço de contacto do fabricante, nos termos do n.º 5 do artigo 11.º:

Calcidrata – Indústrias de Cal, S.A
 Estrada 5 de Outubro, Pé da Pedreira, 2025-161 Alcanede
 Telefone – 24340 90 30 | Fax – 243 40 90 39
 calcidrata@calcidrata.pt | www.calcidrata.pt

5. Se aplicável, nome e endereço de contacto do mandatário cujo mandato abrange os actos especificados no n.º 2 do artigo 12.º:

N.A

6. Sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto de construção tal como previsto no anexo V:


Sistema 4

7. No caso de uma declaração de desempenho relativa a um produto de construção abrangido por uma norma harmonizada:

N.A

8. No caso de uma declaração de desempenho relativa a um produto de construção para o qual tenha sido emitida uma Avaliação Técnica Europeia:

N.A

	DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO N.º NX2B - 01	CÓDIGO: DSI.76.0 EDIÇÃO: 00 DATA: 28-06-2013
---	---	--



9. Desempenho declarado

CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS:	DESEMPENHO/ LIMITE NORMATIVO	METODOLOGIA
Reacção ao fogo	Euroclasse A1	EN 998-1:2010
Adesão	$\geq 0,1 \text{ N/mm}^2$ - Fractura: A	
Permeabilidade ao vapor de água	NPD	
Condutividade térmica	$0,30 \text{ W.m/K (V.T.)}$	
Resistência à compressão	CSII (3,5 a $7,5 \text{ N/mm}^2$)	
Absorção de água	W0	

Quando, nos termos do artigo 37.º ou do artigo 38.º, tenha sido utilizada documentação técnica específica, os requisitos a que o produto obedece:

N.A

10. O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 é conforme com o desempenho declarado no ponto 9.


A presente declaração de desempenho é emitida sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 4.

Assinado por e em nome do fabricante por:

Pé da Pedreira, 28 de Junho de 2013

.....
 António M. Piedade Baptista,
 Administrador

II – Cal aérea

	Lusical H100 (Cal Aérea Cálcica Hidratada)	FICHA TÉCNICA: FP 351 CH 01 B Revisão Nº. 00 Data da Revisão: 03/03/17
---	--	---

Página 1 de 2

DOCUMENTO DE
IDENTIFICAÇÃO DE PRODUTO

1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO


DESIGNAÇÃO	Cal Cálcica 90 na forma de Cal Hidratada
NOTAÇÃO (Designação normalizada)	CL 90 – S
REFERÊNCIA COMERCIAL	Lusical H100
REFERÊNCIA DO PRODUTO	Cal Hidratada H100
FUNÇÃO/ APLICAÇÃO DO PRODUTO	Construção

2. ORIGEM DO PRODUTO

IDENTIFICAÇÃO DO FABRICANTE	Lusical – Companhia Lusitana de Cal, SA
LOCAL DE FABRICO, MORADA	Valverde 2015 – 201 Alcanede

3. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO PRODUTO

PROPRIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	VALORES TÍPICOS	MÉTODO DE ANÁLISE
ASPETO	-	Pulverulento de cor branca	-
MASSA VOLÚMICA (aparente) a 20 °C	g/cm ³	0,4	-

Director Técnico e Fabril  Data : 03/03/2017	Director Cluster Ibéria Data : 03/03/2017
--	---


F.FTCP.00

Lhoist Southern Europe

Lusical – Companhia Lusitana de Cal, S.A.

Fábrica: Valverde - 2025-201 Alcanede - Portugal – Contribuinte n.º: PT 502 146 370

Tel.: (+351) 243 409 040 – Fax: (+351) 243 400 474 – Tlm.: (+351) 969 092 945 – E-mail: info.lusical@lhoist.comwww.lhoist.pt

	Lusical H100 (Cal Aérea Cálcica Hidratada)	FICHA TÉCNICA: FP 351 CH 01 B Revisão N.º: 00 Data da Revisão: 03/03/17
---	--	--

Página 2 de 2


3. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO PRODUTO (continuação)

REQUISITOS QUÍMICOS	UNIDADES	VALORES CARACTERÍSTICOS	MÉTODO DE ANÁLISE
CaO + MgO	% (m/m)	≥ 90	de acordo com a EN 459-2
MgO	% (m/m)	≤ 5	de acordo com a EN 459-2
CO ₂	% (m/m)	≤ 1,8	de acordo com a EN 459-2
SO ₃	% (m/m)	≤ 2	de acordo com a EN 459-2
Cal disponível	% (m/m)	≥ 92	de acordo com a EN 459-2

REQUISITOS FÍSICOS	UNIDADES	VALORES TÍPICOS	MÉTODO DE ANÁLISE
Finura	0,09 mm	Resíduo (% em massa)	de acordo com a EN 459-2
	0,125 mm		
Teor de água livre	%	≤ 1	de acordo com a EN 459-2
Expansibilidade	mm	≤ 2	Método de referência
Ensaio em argamassa	Penetração	mm	de acordo com a EN 459-2
	Teor de ar	%	

4. EMBALAGENS COMERCIAIS

TIPO EMBALAGEM	Saco, Big-Bag, Granel (Camião cisterna)
VOLUME OU PESO DA EMBALAGEM	Sacos de 20 kgs, Big-bags de 500 e 1000 kg, até 25 toneladas (= 60 m ³) para granel

Director Técnico e Fabril	Director Cluster Ibéria
	
Data : 03/03/2017	Data : 03/03/2017
F.FTCP.00	

Lhoist Southern Europe

Lusical – Companhia Lusitana de Cal, S.A.

Fábrica: Valverde - 2025-201 Alcanede - Portugal – Contribuinte n.º: PT 502 146 370

Tel.: (+351) 243 409 040 – Fax: (+351) 243 400 474 – Tlm.: (+351) 969 092 945 – E-mail: info.lusical@lhoist.com

www.lhoist.pt

III – Areia amarela



1515-CPR-0205



18

DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO

Nº 5/2018

- Código de identificação único do produto-tipo: **Agregado 0/4**
- Descrição do produto-tipo: **Refª Areia para reboco (registo na guia de remessa)**
Areia quartzo, quartzito, feldspato, forma subprismática a discoidal (partículas subangulosas a subarredondadas), ligeiramente rugosa a lisa.
- Utilização ou utilizações previstas do produto de construção, de acordo com a especificação técnica harmonizada aplicável, tal como previsto pelo fabricante: **EN 13139:2002; EN 13139:2002/AC:2004 (agregado para argamassas).**
- Nome, designação comercial ou marca comercial registada e endereço de contacto do fabricante, nos termos do nº 5 do artigo 11º:
Areipor - Areias Portuguesas, Lda. Rua da Alameda, Ap 755 - 2671-601 Bucelas
E-mail: geral@areipor.mail.pt Telefone: 21 968 80 10 Fax: 21 968 80 19
- Sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto de construção tal como previsto no anexo V:
Sistema de avaliação 2+
- No caso de uma declaração de desempenho relativa a um produto de construção abrangido por uma norma harmonizada:
E.I.C. - Empresa Internacional de Certificação, organismo notificado, nº 1515, realizou a inspeção inicial e o acompanhamento, apreciação e aprovação contínuos do controlo da produção em fábrica, no âmbito do sistema 2+, e emitiu o certificado de conformidade nº 1515-CPR-0205 de 21 de fevereiro de 2018, válido até 30 de março de 2021, desde que não se alterem significativamente as condições definidas nas normas harmonizadas ou as condições de fabrico e do controlo de produção em fábrica.

7. Desempenho declarado

Norma harmonizada	EN 13139:2002	EN 13139:2002/AC:2004
Características	Desempenho	
Dimensão Nominal - Tamanho das partículas	0/4	Granulometria típica
Massa Volúmica (Mg/m³)	$\rho_a = 2,56 - 2,66$ $\rho_{rd} = 2,54 - 2,64$ $\rho_{ssd} = 2,55 - 2,65$	Abertura (mm) (%) Tolerância (%)
Absorção de água	< 0,9%	8 100 100
Teor de finos	Categoria 1	4 98 93-100
Teor de cloretos	< 0,01%	2 93
Teor de sulfatos solúveis em ácido	AS _{0,2}	1 75 55-95
Teor de enxofre total	< 0,1%	0,250 5 0-25
Teor de húmus	Mais claro que padrão	0,063 1,0 0,0-4,0

Notas: Resultados que não constam, não foram realizados ou não solicitados.
A origem dos valores dos ensaios são da responsabilidade do produtor da matéria-prima.
Mais informações disponível na Ficha de Dados de Segurança

- O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 é conforme com o desempenho declarado no ponto 7.
A presente declaração de desempenho é emitida em conformidade com o Regulamento (UE) nº 305/2011 sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 4.
Assinado por e em nome do fabricante por:

Miguel Miranda, Administrador

(assinatura)

Bucelas, 13 abril 2018

IV – Pellets de madeira

1 Visão geral

A primeira página inclui a seguinte informação:

Nome do produtor: Pinewells, S.A.

Localização do produtor: Zona Industrial da Relvinha – Sarzedo, Arganil 3300-416 Sarzedo AGN, Portugal

Posição geográfica: Lat W 8 graus 076 minutos, Long N 40 graus 264 minutos

Contacto: Nazaré Costa (Pinewells - Zona Industrial da Relvinha – Sarzedo, Arganil 3300-416 Sarzedo AGN, Portugal; nazarecosta@visabeiraglobal.com; +351 235 240 940)

Site da empresa: www.pinewells.pt

Data final do relatório: 13/03/2019

Data da última auditoria (EC): 13/03/2019 (Pinewells - Sarzedo, Arganil 3300-416, Portugal)

Nome da Entidade Certificadora: *Control Union Certifications B.V.*

Traduções (Inglês): Sim

Standards SBP utilizadas:

Standard 1, v. 1.0;

Standard 2, v. 1.0;

Standard 4, v. 1.0;

Standard 5, v. 1.0.

Web link da(s) Standard(s) utilizada(s): <http://www.sustainablebiomasspartnership.org/documents>

Avaliação de Risco Regional entregue por SBE: Não aplicável

Link para a SBE no site da Empresa: <https://pinewells.com/pellets-o-produto>

Indique como a avaliação se enquadra no ciclo de avaliação da base de abastecimento				
Principal Avaliação (Inicial)	Primeira Supervisão	Segunda Supervisão	Terceira Supervisão	Quarta Supervisão
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

V – Superplastificante

Product Data Sheet
Edition 01.22.2017
Sika® ViscoCrete®-225 Powder

Sika® ViscoCrete®-225 Powder

High Range Water Reducing Powdered Superplasticizer

Concrete

Description	Sika® ViscoCrete®-225 Powder is a third generation high range water reducing and superplasticizing powder admixture for use in concrete and mortar. It is based on Sika's patented 'ViscoCrete' polycarboxylate polymer technology.
Applications	<p>Sika® ViscoCrete®-225 Powder may be used in a variety of concrete applications but is especially suited for the production of mortar and concrete dry mix. Sika® ViscoCrete®-225 Powder facilitates extreme water reduction, excellent flowability, optimal cohesion, and promotes excellent self compacting behavior.</p> <p>Sika® ViscoCrete®-225 Powder is recommended for the following applications:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Grouts in general ■ Non Shrink Grouts ■ Screeds in general ■ Self leveling Screeds ■ Gypsum and Anhydrite Screeds <p>Sika® ViscoCrete®-225 Powder has been formulated to provide maximum water reduction however is suitable and may be utilized for all levels of water reduction. Can be combined with other Sika® ViscoCrete® powders to attain maximum effects such as flowability and retardation.</p>
Benefits	<p>Sika® ViscoCrete®-225 Powder is a unique, specially formulated polycarboxylate powder that combines different mechanisms and is compatible with a variety of cement chemistries. Through surface adsorption and steric separation effect on the binder particles, in parallel to the hydration process, the following advantages may be observed:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Effective when utilized with cements that have high C3A, sulphate and alkali content. ■ Effective when utilized with ordinary portland cements (OPC) and blends of OPC and aluminate cements. ■ Compatible with other additives (i.e. citric acid). ■ Extremely high water reduction (resulting in high density and strengths). ■ Excellent flowability (resulting in greatly reduced placing and compacting efforts). ■ Increased high early strength development. ■ Improved shrinkage and creep behavior. ■ Low absorption time, "wets out" faster than competitive materials. ■ Medium retardation. ■ Ideal for use in self-leveling, self-compacting applications.



PRIOR TO EACH USE OF ANY SIKA PRODUCT, THE USER MUST ALWAYS READ AND FOLLOW THE WARNINGS AND INSTRUCTIONS ON THE PRODUCT'S MOST CURRENT PRODUCT DATA SHEET, PRODUCT LABEL AND SAFETY DATA SHEET WHICH ARE AVAILABLE ONLINE AT [HTTP://USA.SIKA.COM/](http://usa.sika.com/) OR BY CALLING SIKA'S TECHNICAL SERVICE DEPARTMENT AT 800-933-7452. NOTHING CONTAINED IN ANY SIKA MATERIALS RELIEVES THE USER OF THE OBLIGATION TO READ AND FOLLOW THE WARNINGS AND INSTRUCTION FOR EACH SIKA PRODUCT AS SET FORTH IN THE CURRENT PRODUCT DATA SHEET, PRODUCT LABEL AND SAFETY DATA SHEET PRIOR TO PRODUCT USE.

Concrete

How to Use

Dosage	Depending on the application, the dosage of Sika® ViscoCrete®-225 Powder varies from 0.05 to 0.5% of the powder weight. At high dosage Sika® ViscoCrete®-225 Powder can cause retardation as well as at low temperatures.
Mixing	Sika® ViscoCrete®-225 Powder is added to the dry mix at the beginning of batching cycle. For optimum utilization of the high water reduction it is recommended to allow a minimal wet mixing time of 30 seconds. Sika® ViscoCrete®-225 Powder is highly effective as single added admixture or in combination with other Sika Admixtures. If used in combination with certain Sikament® water reducing admixtures plastic properties can be affected. Please contact your local sales representative or technical service department at 1-800-933-7452 for further information.
Packaging	Sika® ViscoCrete® - 225 Powder is available in 44 lb. (20 kg) bags/pallet.
Storage and Shelf Life	Protect from direct sunlight and frost. Store in dry warehouse conditions between 45°F and 80°F (7°C - 27°C). Shelf life when stored properly in undamaged, unopened, original sealed packaging in dry warehouse conditions between 45°F and 80°F (7°C - 27°C) is 1 year.
Typical Data	
Appearance	White Powder
Density	Bulk Density - $0.6 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$

KEEP CONTAINER TIGHTLY CLOSED • KEEP OUT OF REACH OF CHILDREN • NOT FOR INTERNAL CONSUMPTION • FOR INDUSTRIAL USE ONLY • FOR PROFESSIONAL USE ONLY

All information provided by Sika Corporation ("Sika") concerning Sika products, including but not limited to, any recommendations and advice relating to the application and use of Sika products, is given in good faith based on Sika's current experience and knowledge of its products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's instructions. In practice, the differences in materials, substrates, storage and handling conditions, actual site conditions and other factors outside of Sika's control are such that Sika assumes no liability for the provision of such information, advice, recommendations or instructions related to its products, nor shall any legal relationship be created by or arise from the provision of such information, advice, recommendations or instructions related to its products. The user of the Sika product(s) must test the product(s) for suitability for the intended application and purpose before proceeding with the full application of the product(s). Sika reserves the right to change the properties of its products without notice. All sales of Sika product(s) are subject to its current terms and conditions of sale which are available at <http://usa.sika.com/> or by calling 800-933-7452.

Sika warrants this product for one year from date of installation to be free from manufacturing defects and to meet the technical properties on the current Product Data Sheet if used as directed within shelf life. User determines suitability of product for intended use and assumes all risks. Buyer's sole remedy shall be limited to the purchase price or replacement of product exclusive of labor or cost of labor.

NO OTHER WARRANTIES EXPRESS OR IMPLIED SHALL APPLY INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. SIKAShall NOT BE LIABLE UNDER ANY LEGAL THEORY FOR SPECIAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES. SIKAShall NOT BE RESPONSIBLE FOR THE USE OF THIS PRODUCT IN A MANNER TO INFRINGE ON ANY PATENT OR ANY OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS HELD BY OTHERS.

Sika Corporation
201 Polito Avenue
Lyndhurst, NJ 07071
Phone: (201) 933-8800
Fax: (201) 933-6225
usa.sika.com

Sika Canada Inc.
601, Delmar Avenue
Pointe-Claire, QC H9R 4A9
Phone: (514) 697-2610
Fax: (514) 697-3087
can.sika.com

Regional Information and Sales Centers. For the location of your nearest Sika representative, contact your regional center.

U.S. : Northeast: Fairless Hills, PA, Phone: (215) 295-6600 North Central: Ottawa, IL 61350, Phone: (815) 431-1080
South East: Conyers, GA, Phone: (770) 760-1300 South Central: Mesquite, TX, Phone: (972) 289-6480
Western Region: Santa Fe Springs, CA, Phone: (972) 289-6480

Canada: Ontario: Mississauga, ON, Phone: (905) 795-3177 Alberta: Edmonton, AB, Phone: (780) 486-6111

Quality Certification Numbers: Lyndhurst: FM 69711 (ISO 9000), FM 70421 (QS 9000), Marion: FM 69715, Kansas City: FM 69107, Santa Fe Springs: FM 69408

PRIOR TO EACH USE OF ANY SIKAS PRODUCT, THE USER MUST ALWAYS READ AND FOLLOW THE WARNINGS AND INSTRUCTIONS ON THE PRODUCT'S MOST CURRENT PRODUCT DATA SHEET, PRODUCT LABEL AND SAFETY DATA SHEET WHICH ARE AVAILABLE ONLINE AT [HTTP://USA.SIKA.COM/](http://usa.sika.com/) OR BY CALLING SIKAS TECHNICAL SERVICE DEPARTMENT AT 800-933-7452. NOTHING CONTAINED IN ANY SIKAS MATERIALS RELIEVES THE USER OF THE OBLIGATION TO READ AND FOLLOW THE WARNINGS AND INSTRUCTION FOR EACH SIKAS PRODUCT AS SET FORTH IN THE CURRENT PRODUCT DATA SHEET, PRODUCT LABEL AND SAFETY DATA SHEET PRIOR TO PRODUCT USE.

VI – Tinta Barbolite Hydro

FICHA TÉCNICA

www.barbot.pt



BARBOLITE HYDRO

TINTA MATE PARA EXTERIOR

Ref.: 1271

IDENTIFICAÇÃO TÉCNICA

Tinta aquosa baseada numa nova geração de resinas de Hydro-Pliolite^(a) utilizando a tecnologia E.B.S. (Emulsified Binding System).

CAMPO DE UTILIZAÇÃO

Destina-se, à pintura de exteriores sobre argamassas de cimento, estuque, betão e outros substratos comuns na construção civil.

PROPRIEDADES

- Aspecto ultra mate.
- Excelente adesão e opacidade.
- Elevada resistência à alcalinidade.
- Película protegida contra o desenvolvimento de fungos.
- Permeável ao vapor de água e impermeável à água líquida.
- Baixo odor.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

(Referentes ao Branco)

- Cor	Conforme catálogo
- Aspecto da película seca	Mate.
- Teor de sólidos em volume	44 ± 2%
- Rendimento prático	Em superfícies lisas: 10 a 12 m ² / L / demão. Em superfícies rugosas: 6 a 10 m ² / L / demão.
- Tempo de secagem	1 hora
- Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Valor limite da UE para este produto (Cat.A/c): 40g/l (2010). Este produto contém no máximo 35 g/l COV.*

(a)Hydro-Pliolite é uma marca registada da Eliokem



BARBOT - Indústria de Tintas, S.A.
Rua das Bórmegas, 465
4410-296, Camões, Vila Nova de Gaia
tel.: 227 169 200 | fax: 227 169 218
www.barbot.pt

Nota: * O valor indicado de COV refere-se ao produto pronto a aplicar, incluindo a tintagem, diluição, etc., com produtos da nossa empresa e por nós recomendados. Não nos responsabilizamos pelos produtos que sejam obtidos por misturas de produtos por nós não recomendados.

CARACTERÍSTICAS DE APLICAÇÃO

- Preparação da superfície	As superfícies a pintar devem estar bem secas e isentas de poeiras e gorduras.
• Pinturas de raiz	Após escovagem e limpeza da superfície aplicar BARBOLITE HYDRO. Em superfícies com intensa absorção ou alcalinidade excessiva recomenda-se a aplicação prévia do ISOLANTE ISOCRIL diluído a 50% com DILUENTE 1425 ou o PRIMÁRIO BARBOLITE diluído até 5% com DILUENTE 1425 ou PRIMÁRIO BARBOLITE HYDRO.
• Repintura	Remover poeiras e tinta não aderente e de seguida tratar como pintura de raiz. Caso a superfície apresente contaminação com fungos e/ou algas, desinfetar a superfície com SOLUÇÃO DE LIMPEZA BIOCHOQUE e de seguida tratar como pintura de raiz.
- Condições ambientais	Temperatura ambiente – Superior a 5 °C Humidade relativa – Inferior a 80% Humidade do suporte – Inferior a 5% Temperatura do suporte – 2 a 3 °C acima do ponto de orvalho.

INSTRUÇÕES DE APLICAÇÃO

- Preparação do produto	Agitar até homogeneização completa.
- Processo de aplicação	Trincha, ou rolo.
- Diluentes e proporção de diluição	Diluir com água até 10% na 1ª demão e até 5% na 2ª e 3ª demão.
- Intervalo entre demãos	4 a 6 horas no mínimo.
- Diluente Limpeza	Água.
ESTABILIDADE EM ARMAZÉM	Temperatura Mínima – 5°C Temperatura Máxima – 35°C
RISCOS E SEGURANÇA	Consultar a ficha de segurança em www.barbot.pt

Maio 2013

(substitui a de Outubro de 2009)

As características deste produto poderão ser alteradas sem aviso prévio como consequência da política de contínua investigação e desenvolvimento da Barbot – Indústria de Tintas, S.A. Esta informação baseia-se no nosso actual conhecimento do produto, contudo, devido ao facto das suas condições de utilização se encontrarem fora do nosso controlo, não são dadas quaisquer garantias de resultados.

Página 2 de 2

VII – Tinta Preta Dyrup



INFORMAÇÃO TÉCNICO/COMERCIAL

TELHAS

Refª 5200 ITC nº 793

DEZ-2017 (PP0012)



• Telhas é uma tinta formulada com base em resinas acrílicas, com características de resistência à acumulação de sujidades e excelente resistência à intempérie. Pode ser aplicada em telhas convencionais, de fibrocimento e de betão, entre outras.

- Brilho **Mate**
- Acabamento **Liso**
- Suportes: **Cimento, Pedra, Telha, Tijolo**
- Cores disponíveis: **Preto, Telha Barro, Telha Tradicional**



PROPRIEDADES

- Excelente adesão
- Boa impermeabilidade à água líquida
- Permeável ao vapor de água
- Alta resistência aos raios UV
- Excelente resistência à intempérie

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- **Rendimento:** 6-12 m²/L (Obs.: depende do tipo/estado e porosidade do suporte)
- **Secagem ao tato:** Aprox. 1-2h
- **Secagem repintura:** Aprox. 4-6h
- **Densidade:** 1,28 (valor médio)
- **Ponto de inflamação:** Não inflamável
- **Teor sólidos (%v/v):** 30,0%

Valor limite da UE para este produto (subcat. A/c): 40 g/l. Este produto contém no máx. 30 g/l COV.



PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE

- De um modo geral, as superfícies devem estar coesas, sem fendas, isentas de poeiras, areias soltas, desgorduradas, desinfetadas e secas. Fendas e outras irregularidades devem ser previamente reparadas.
- Em superfícies porosas ou pobres: Aplicar uma demão com o primário fixador **DIP Fix refª 8650**.
- Em caso de repinturas, remover a tinta mal aderente, reparar as fissuras e desinfetar com uma demão de **Dyruwash refª 9360**, procedendo depois como se de uma superfície nova se tratasse.

PREPARAÇÃO DO PRODUTO

- Homogeneizar muito bem a tinta antes de aplicar.

APLICAÇÃO

- Aplicar 2 demãos de tinta na superfície devidamente preparada.
- A espessura recomendada é de 100µm húmido e 30µm seco.
- Se for necessário utilizar mais do que uma embalagem da mesma cor na mesma parede, misturar as embalagens entre si antes da tinta ser aplicada.

FERRAMENTAS DE APLICAÇÃO

- Trincha, rolo ou pistola.

LIMPEZA DAS FERRAMENTAS

- Água e sabão imediatamente após utilização.

INDICAÇÕES IMPORTANTES

- Evitar a aplicação do produto a temperatura ambiente inferior a 10°C ou se houver iminência de chuva.
- O produto deve ser guardado num ambiente seco, fresco e ao abrigo da geada, em embalagem original e fechada. Para evitar derrames a tinta deve ser armazenada e transportada em posição segura na vertical.
- Evite aplicar o produto com humidade relativa superior a 80% e a temperatura inferior a 10°C ou superior a 35°C.
- Aconselhamos o cumprimento das normas de segurança normalmente recomendadas na aplicação de tintas e na ficha de dados de segurança do produto.
- **CONDIÇÕES DE ARMAZENAGEM RECOMENDADAS:** Armazenar na embalagem original entre 5°C e 35°C, em lugar seco e bem ventilado, afastado de fontes de calor e da luz solar direta.

Nota: Considerando as diferentes condições de trabalho, recomendamos que se procedam a ensaios prévios. Em caso de dúvidas consulte o nosso Serviço a Clientes 808 502 000 ou pelo Serviço de Atendimento Permanente das 8h às 20h através do telefone 917605736.

PPG DYRUP, S.A.

Rua Cidade de Goa, 26 | 2685-038 Sacavém
www.dyrup.pt | www.bondex.pt | Tel.: 808 502 000



Este documento deixa de ser controlado após ter sido impresso.

Página 2 de 2

VIII – Verniz mate

Su búsqueda ▶ Ok

DESCUBRA NUESTROS PRODUCTOS

REALICE SU PROYECTO

CONSEJOS PRÁCTICOS

DÓNDE ENCONTRAR NUESTROS PRODUCTOS

CONTÁCTENOS

SABERLO TODO SOBRE...

VERNIZES INTERNOS

- ▶ A.
- ▶ Verniz brilhante ultra-resistente
- B. Verniz de cetim
- ▶ ultra-resistente C. Verniz fosco ultra-resistente
- ▶ Veja a cartela de cores
- Calcule a quantidade
- Onde encontrar este produto
- Conduza seu projeto com sucesso
- Responda às suas perguntas
- Nosso relatório temático
- Entre em contato conosco



C. VARNISH DE MATT ULTRA RESISTENTE

- Ultra-resistência a riscos e manchas
- Protege móveis, objetos, portas, bancadas ...
- Tecnologia Extrem-Protect
- Rótulo Ecológico

C. Matt verniz ultra resistente

Use

- É aplicado em todas as espécies de madeira, exótica europeia.
- Recomendado para decoração e proteção de madeiras de interior: móveis, objetos, portas ...

Propriedades

- Proporciona uma coloração rica e intensa à madeira.
 - Garante excelente resistência a impactos, riscos, manchas e água.
 - Ótimo conforto de aplicação: sem gotejamento, boa capacidade de manipulação, secagem rápida, ausência de odores desagradáveis.
 - Norma Toys EN 71.3
- Os vernizes interiores V33 são formulados de acordo com especificações rigorosas para contribuir para o respeito do utilizador, do seu habitat e do ambiente, garantindo simultaneamente uma excelente qualidade.
- Eles são testados de acordo com as normas por laboratórios independentes que demonstram: respeito para a qualidade do ar interior medido de acordo com a norma EN ISO 16000, as emissões de VOC (compostos orgânicos voláteis) abaixo requisitos regulamentares, ausência de matéria perigosa.

Desempenho:
1L = +/- 12m²Secagem:
Secagem ao toque: 30min
Secagem entre camadas: 3h
Secagem completa: 12hFerramentas:
Escova, escova ou pistola (dilua a 10% com água)Limpar os utensílios:
Água

Preparação

- MADEIRA VERNIZ: Lixe cuidadosamente com uma lixa de grão fino (240). Se o verniz estiver descascando, decapele com o DECAPOR DE VAPOR MADEIRA ESPECIAL V33. Enxágue com água. Deixe secar 24 horas.
- MADEIRA CERA: Remova as camadas de cera com um de-wax. Areia com uma lixa de grão fino (240) e limpe a poeira.
- MADEIRA VERDE (teca ...): desengordura. Areia com uma lixa de grão fino (240) e limpe a poeira.

Aplicação

Condições adequadas de aplicação: em madeira bruta, limpa e seca, entre 12° e 25° com tempo seco, protegido de correntes de ar e sol. Agite antes e durante o uso com a ajuda de uma haste longa e larga para homogeneizar bem.

Aplicar com pincel, minirodillo ou pistola em camadas regulares na direção das fibras da madeira evitando o excesso de espessura. Deixe a primeira camada secar por 3 horas.

Lixe levemente com uma lixa fina (240) e remova a poeira antes de aplicar a segunda demão. Deixe secar.

Cores de aparência dos formatos

0,25 l, 0,75 l, 2,5 l

IX – Pigmento termo cromático



Thermochromic Free Flowing Powder Technical Data

Description

SFXC Thermochromic Powders are thermochromic micro capsules in a powder pigment form. They have been specially designed for use in non aqueous based ink systems although their use is not limited to this. They can be used to formulate non aqueous based flexographic, UV, Screen, Offset, Gravure and Epoxy Ink formulations (for aqueous applications we would recommend using Thermochromic slurries). 'SFXC Thermochromic Powders' are colored below a specific temperature, and change to colorless or to another, lighter color as they are heated through the temperature range. These pigments are available in various colors and activation temperatures.

Standard activation temperatures	15°C, 31°C and 47°C.
Special activation temperatures	-10°C to 69°C.

The activation temperature is defined as the temperature above which the pigment has almost achieved its final clear or light color end point. The color starts to fade at approximately 4°C below the activation temperature and will be in between colors within the activation temperature range. The color change is "reversible," i.e., the original color will be restored upon cooling.

Standard colors	Black, Blue, Magenta, Green, Orange and Red.
Special custom colors	Purple, Brown and Turquoise.

Special Care and Storage / Handling Instructions

'SFXC Thermochromic Powders' are more sensitive to the influences of solvents, UV light, pH, Shear and temperature than many other types of pigment (see sensitivity). It should be noted that there are differences in performance of the various colors so that each should be thoroughly tested before commercial application.

'SFXC Thermochromic Powders' have excellent stability when stored away from heat. Store below 25°C. Do not allow to freeze as this will damage the thermochromic capsules. A shelf life of 12 months is guaranteed provided that the material is stored in a cool and dark environment and kept in a tightly sealed container. Long term exposure to UV light or elevated temperature can cause loss of thermochromic function. Storage longer than twelve months is not recommended. Please consult product MSDS prior to use.

TECHNICAL DETAILS

Solids	98% +/-2%
Particle Size	97% <6um
Light Fastness (blue wool scale)	1 – 2
Shelf Life	12 months

SENSITIVITY

SFXC THERMOCHROMIC microcapsules are sensitive to adverse environmental conditions. These are listed below, along with a description of the nature of the sensitivity, and recommendations with regards to them.

MIXING:

SFXC Thermochromic Powders can withstand most standard mixing procedures. Some shear is necessary as the microcapsules agglomerate when in powder form. To re-disperse we recommend the use of a three-roll mill. If too much shear energy is used (e.g. bead mills) then the micro capsules can be crushed and the thermochromic function destroyed.

LIGHT:

Long term exposure to UV and some fluorescent lights can degrade color intensity. Extreme exposure of more than several days of direct sunlight may degrade the color of the microcapsules, though it will probably still change color. More than 600 hours of a strong fluorescent light may also cause a loss of color in the thermochromic.

HEAT:

Extended exposure to high temperatures of 50°C or higher can degrade the pigment. With heat the exposure only has an effect if a given temperature is constantly maintained for a given amount of time. Thermochromic microcapsules can survive temperatures >200°C however they can only be exposed to these temperatures for a very short periods of time (<10 seconds).

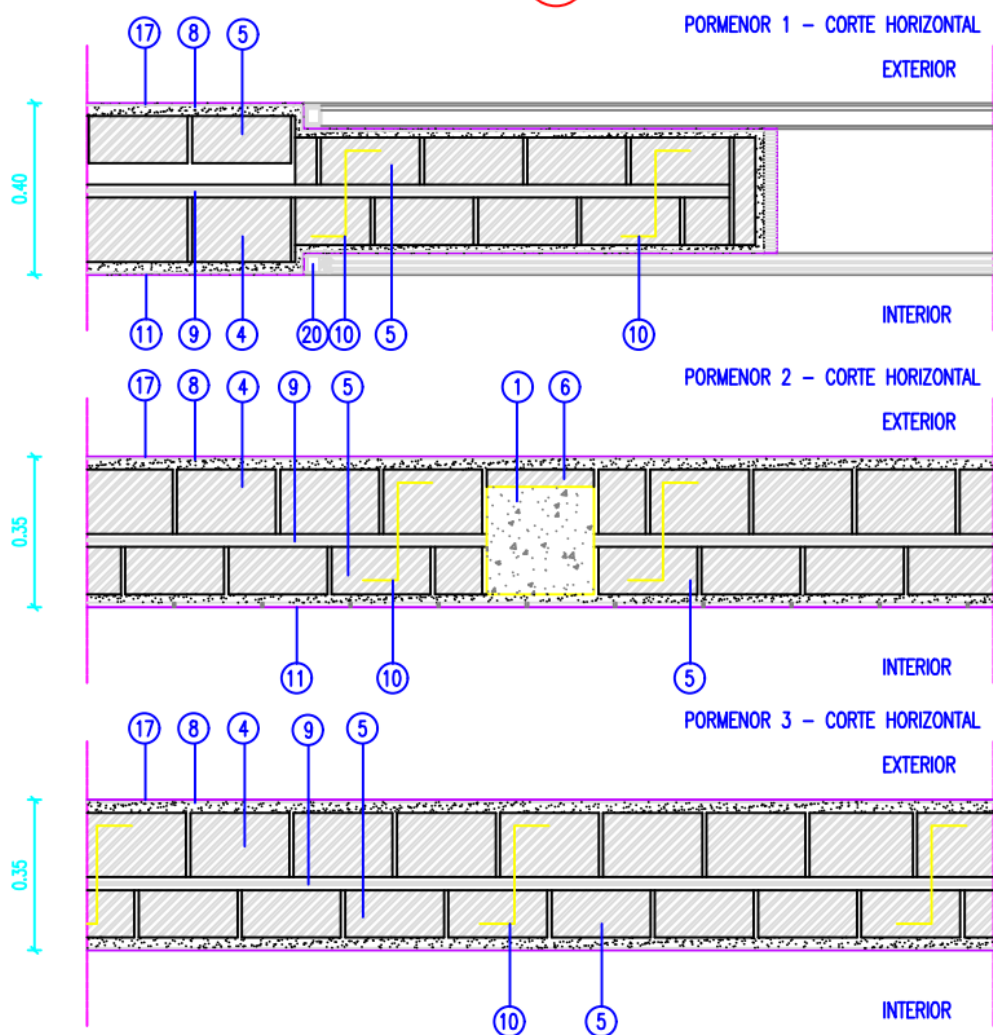
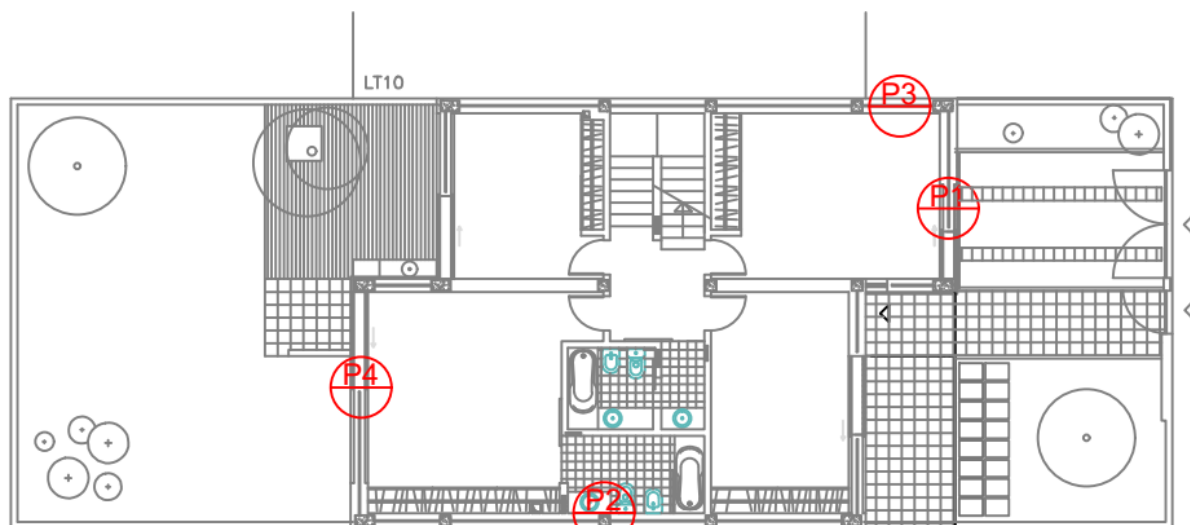
CHEMICALS:

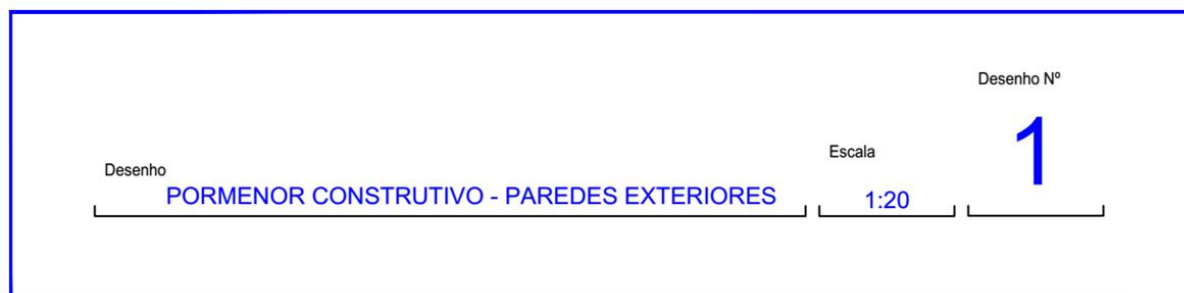
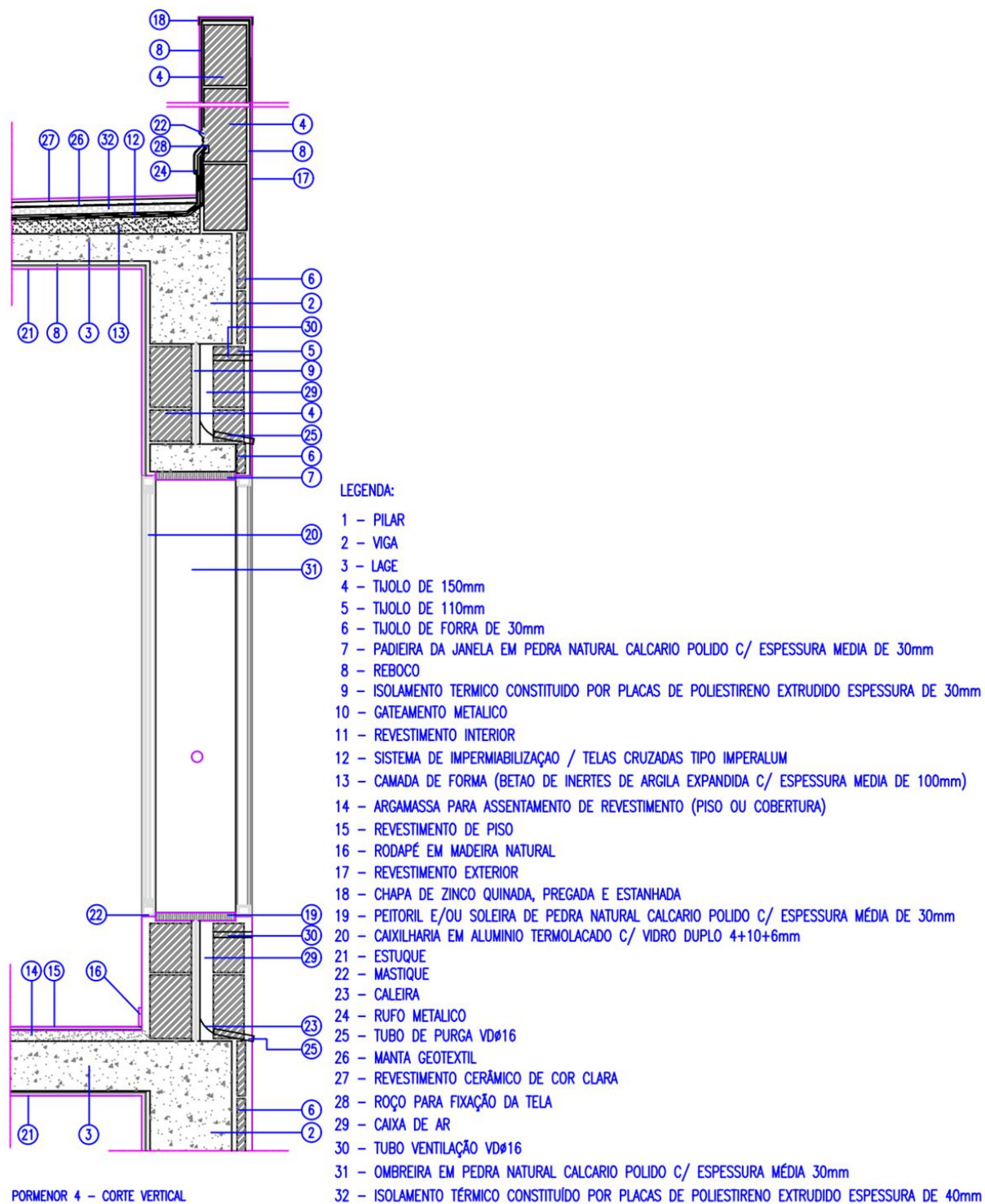
SFXC Thermochromic powder can be incorporated into many types of non aqueous and UV curing formulations, however, thermochromic materials are sensitive to chemical exposure. Care must be taken to avoid the use of polar solvents such as alcohols, acetates etc. as these can damage the micro capsule walls.

ALL APPLICATIONS USING COLOR-CHANGING PIGMENTS AND INK OF ANY KIND SHOULD BE THOROUGHLY TESTED PRIOR TO APPROVAL FOR PRODUCTION.

Information in this Product Data Sheet is compiled from our general experience and data obtained from various technical publications. While we believe that the information provided herein is accurate at the date hereof, no responsibility for its completeness or accuracy can be assumed. Tests are carried out under controlled laboratory conditions. Information is given in good faith, but without commitment as conditions vary in every case. The information is provided solely for consideration, investigation and verification by the user. We do not except any liability for any loss, damage or injury resulting from its use (except as required by law). Please refer to the SFXC Material Safety Data Sheet before using products to ensure safe handling.

Anexo B – Projeto





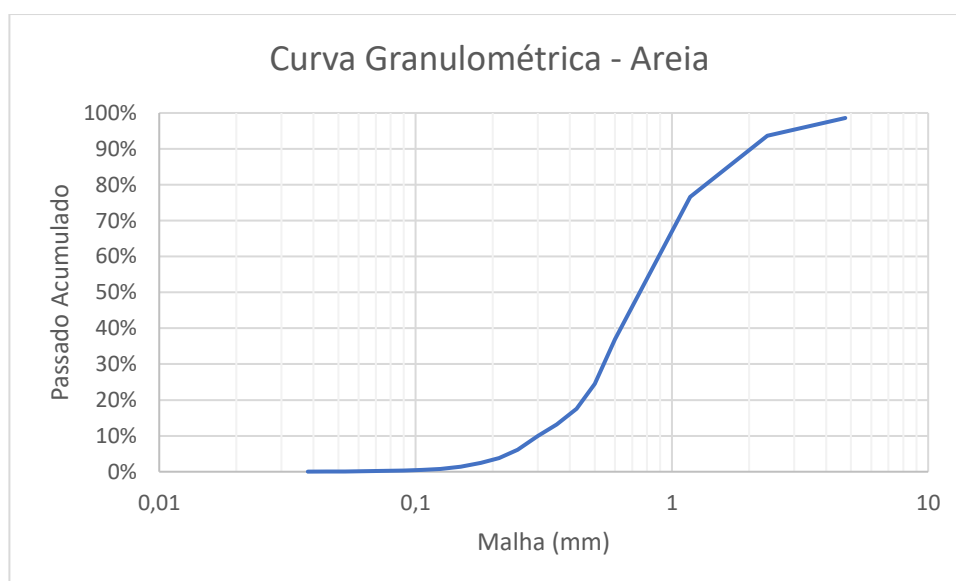
Apêndices

Apêndice A – Resultado dos ensaios

I – Análise granulométrica

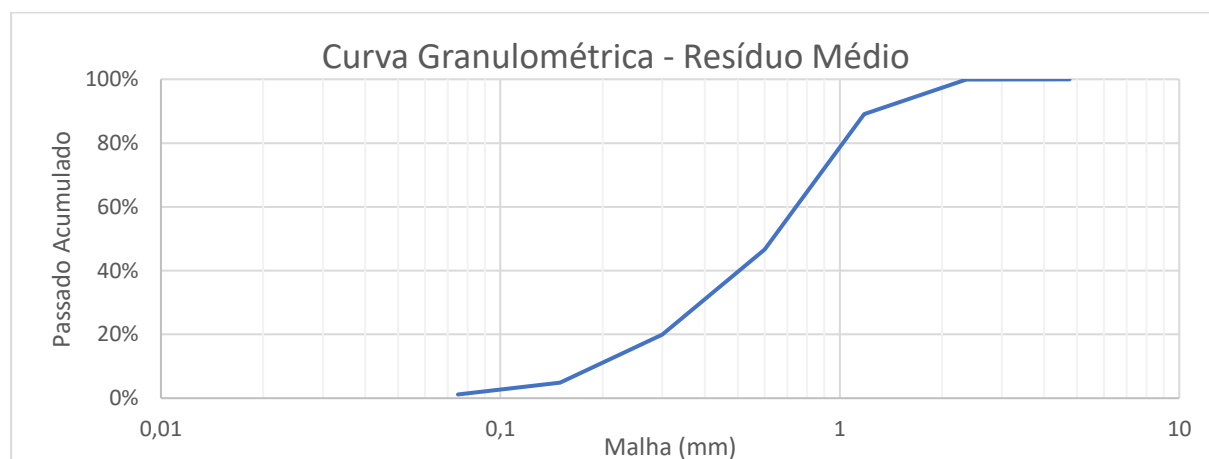
a) Areia

Peneiro nº	Malha (mm)	Resíduo		Acumulado	
		massa (g)	%	Passado	Retido
4	4,75	14,155	1,40%	98,60%	1,40%
8	2,36	50,317	4,98%	93,61%	6,39%
16	1,18	171,909	17,03%	76,59%	23,41%
30	0,6	400,818	39,70%	36,89%	63,11%
35	0,5	124,786	12,36%	24,53%	75,47%
40	0,425	70,319	6,96%	17,57%	82,43%
45	0,355	44,527	4,41%	13,16%	86,84%
50	0,3	32,401	3,21%	9,95%	90,05%
60	0,25	38,140	3,78%	6,17%	93,83%
70	0,212	23,833	2,36%	3,81%	96,19%
80	0,18	13,804	1,37%	2,44%	97,56%
100	0,15	10,326	1,02%	1,42%	98,58%
120	0,125	6,327	0,63%	0,80%	99,20%
140	0,106	3,134	0,31%	0,48%	99,52%
170	0,09	1,944	0,19%	0,29%	99,71%
200	0,075	0,885	0,09%	0,20%	99,80%
230	0,063	0,919	0,09%	0,11%	99,89%
270	0,053	0,423	0,04%	0,07%	99,93%
325	0,045	0,278	0,03%	0,04%	99,96%
400	0,038	0,132	0,01%	0,03%	99,97%
Refugo		0,314	0,03%	0,00%	100,00%
Totais		1009,691	100,00%	-	282,94%
Módulo de finura					2,83



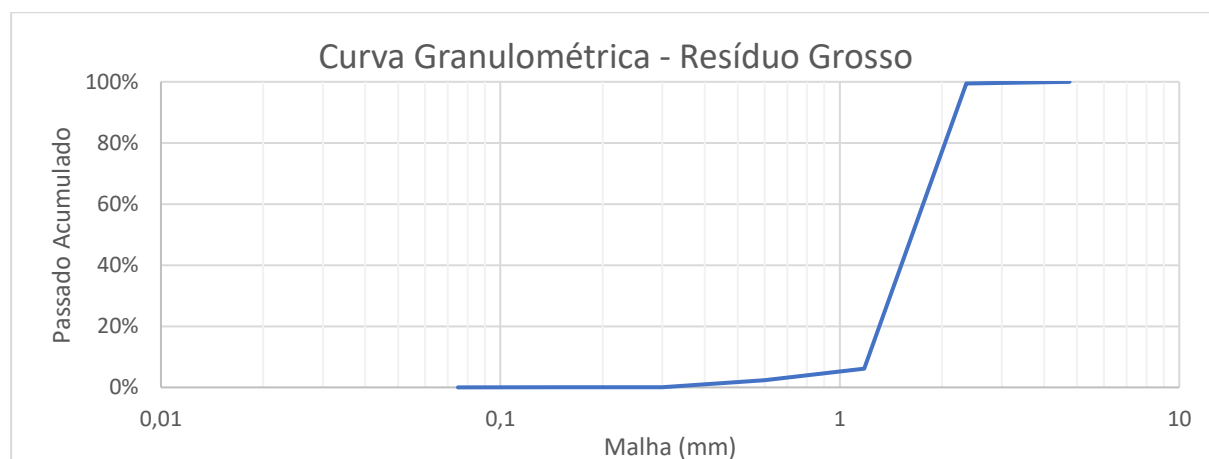
b) Resíduo médio de madeira

Peneiro nº	Malha (mm)	Resíduo		Acumulado	
		massa (g)	%	Passado	Retido
4	4,75	0,047	0,01%	99,99%	0,01%
8	2,36	0,225	0,06%	99,93%	0,07%
16	1,18	40,686	10,88%	89,05%	10,95%
30	0,6	158,574	42,41%	46,64%	53,36%
50	0,3	99,797	26,69%	19,95%	80,05%
100	0,15	56,392	15,08%	4,86%	95,14%
200	0,075	13,801	3,69%	1,17%	98,83%
Refugo		4,385	1,17%	0,00%	100,00%
Totais		373,907	100,00%	—	239,59%
Módulo de finura					2,4



c) Resíduo grosso de madeira

Peneiro nº	Malha (mm)	Resíduo		Acumulado	
		massa (g)	%	Passado	Retido
4	4,75	0,014	0,00%	100,00%	0,00%
8	2,36	2,543	0,51%	99,49%	0,51%
16	1,18	466,478	93,31%	6,18%	93,82%
30	0,6	19,12	3,82%	2,35%	97,65%
50	0,3	11,438	2,29%	0,06%	99,94%
100	0,15	0,22	0,04%	0,02%	99,98%
200	0,075	0,059	0,01%	0,01%	99,99%
Refugo		0,036	0,01%	0,00%	100,00%
Totais		499,908	100,00%	---	391,91%
Módulo de finura					3,9



II – Baridade dos constituintes

Tipo	Baridade (Mg/m ³)			
	1	2	3	pb
Argamassa de cimento branco	1,67	1,67	1,67	1,67
Cal aérea	0,43	0,46	0,50	0,46
Areia	1,55	1,49	1,53	1,52
Resíduo médio/grosso de madeira	0,55	0,55	0,52	0,54

III – Consistência por espalhamento

Tipo	Distância (cm)				Espalhamento %	Relação A/L
	d'1	d'2	d'3	d'4		
Argamassa CAA	18,0	18,3	18,1	18,1	81,3%	1,81
Argamassa CBA	19,2	19,0	18,6	19,2	90,0%	0,49
Argamassa CBAP	16,0	16,3	16,2	15,7	60,5%	0,40

IV – Resistência mecânica

Tipo	Força (N)			Resistência (MPa)				Força (N)			Resistência (MPa)			
	ff1	ff2	ff3	Rt1	Rt2	Rt3	Rt DP	fc1	fc2	fc3	Rc1	Rc2	Rc3	Rc DP
Argamassa CAA	59,61	193,44	173,48	0,1	0,5	0,4	0,3 0,1	1590,82	1663,08	1536,83	1,0	1,0	1,0	1,0 0,1
Argamassa CBA	129,90	129,05	142,27	0,3	0,3	0,3	0,3 0,1	961,29	866,26	580,32	0,6	0,5	0,4	0,5 0,1
Argamassa CBAP	71,98	69,17	62,98	0,2	0,2	0,2	0,2 0,1	508,06	409,09	432,71	0,3	0,3	0,3	0,3 0,1

V – Porosidade aberta e massa volúmica

Tipo	massa (g)			Porosidade Aberta (%)					Massa Volúmica (kg/m ³)				
	m1	m2	m3	R1	R2	R3	Pab	DP	R1	R2	R3	pb	DP
Argamassa CAA	275,595	153,688	308,585										
	222,408	123,754	249,633	21,3	21,6	21,6	21,5	0,1	1 779	1 767	1 780	1 775	6
	225,839	126,312	253,203										
Argamassa CBA	180,842	97,558	224,446										
	188,514	100,682	234,766	34,4	34,5	33,6	34,1	0,4	1 425	1 406	1 430	1 420	10
	181,492	97,205	224,097										
Argamassa CBAP	149,799	77,516	212,160										
	156,720	80,284	220,141	46,3	45,3	44,6	45,4	0,7	1 113	1 121	1 125	1 119	5
	148,713	75,462	207,679										

VI – Condutibilidade térmica

Tipo	Condutibilidade térmica (W/(m.K))				
	1	2	3	λ	σ
Argamassa CAA	0,815	0,832	0,816	0,82	0,01
Argamassa CBA	0,535	0,534	0,497	0,52	0,02
Argamassa CBAP	0,153	0,142	0,112	0,14	0,02

VII – Coesão superficial

Tipo	Massa (g)			\bar{M}	σ
	p1	p2	Δ		
Argamassa CAA	0,311	0,311	0,000	0,001	0,001
	0,313	0,315	0,002		
	0,312	0,313	0,001		
Argamassa CBA	0,313	0,335	0,022	0,019	0,002
	0,311	0,327	0,016		
	0,311	0,331	0,020		
Argamassa CBAP	0,306	0,320	0,014	0,011	0,04
	0,309	0,322	0,013		
	0,311	0,316	0,005		
Argamassa CAA-PP	0,306	0,307	0,001	0,001	0,001
	0,307	0,308	0,001		
	0,306	0,308	0,002		
Argamassa CBA-PP	0,306	0,312	0,006	0,006	0,001
	0,307	0,315	0,008		
	0,306	0,311	0,005		
Argamassa CBAP-PP	0,307	0,315	0,008	0,009	0,002
	0,308	0,320	0,012		
	0,306	0,314	0,008		
Argamassa CAA-PB	0,302	0,303	0,001	0,001	0,001
	0,305	0,306	0,001		
	0,303	0,305	0,002		
Argamassa CBA-PB	0,306	0,307	0,001	0,004	0,002
	0,302	0,306	0,004		
	0,305	0,312	0,007		
Argamassa CBAP-PB	0,307	0,310	0,003	0,005	0,002
	0,308	0,313	0,005		
	0,303	0,310	0,007		
Argamassa CAA-PT	0,312	0,320	0,008	0,006	0,003
	0,303	0,311	0,008		
	0,304	0,305	0,001		
Argamassa CBA-PT	0,306	0,310	0,004	0,004	0,002
	0,315	0,321	0,006		
	0,305	0,306	0,001		
Argamassa CBAP-PT	0,302	0,309	0,007	0,007	0,002
	0,305	0,314	0,009		
	0,306	0,310	0,004		

VIII – Dureza superficial

Tipo	Dureza superficial (Shore A)			\bar{M}	σ
	1	2	3		
Argamassa CAA	75	81	60	75	5
Argamassa CBA	52	64	57	58	5
Argamassa CBAP	83	70	74	76	5
Argamassa CAA-PP	75	77	69	74	3
Argamassa CBA-PP	64	74	83	74	8
Argamassa CBAP-PP	78	81	78	79	1
Argamassa CAA-PB	79	71	70	73	4
Argamassa CBA-PB	74	80	79	78	3
Argamassa CBAP-PB	80	76	64	73	7
Argamassa CAA-PT	75	84	88	82	5
Argamassa CBA-PT	86	83	80	83	2
Argamassa CBAP-PT	85	81	77	81	3

IX – Erosão por desgaste

Tipo	Massa (g)		
	p1	p2	Δ
Argamassa CAA	4 143,00	4 122,80	20,2
Argamassa CBA	4 273,50	4 239,30	34,2
Argamassa CBAP	4 192,70	4 141,10	51,6
Argamassa CAA-PP	4 153,90	4 151,90	2,0
Argamassa CBA-PP	4 254,50	4 244,60	9,9
Argamassa CBAP-PP	4 158,80	4 156,60	2,2
Argamassa CAA-PB	4 151,90	4 151,00	0,9
Argamassa CBA-PB	4 244,60	4 243,40	1,2
Argamassa CBAP-PB	4 156,60	4 148,20	8,4
Argamassa CAA-PT	4 151,00	4 149,60	1,4
Argamassa CBA-PT	4 243,40	4 243,10	0,3
Argamassa CBAP-PT	4 148,20	4 147,90	0,3

X – Termografia

Tipo	Temperatura superficial (°C)			
	t0=0	t1= 300	t2=600	t3=900
Argamassa CAA-PP	22,6	32,1	38,9	42,4
Argamassa CAA-PT	22,6	28,4	32,2	34,1
Argamassa CAA-PB	22,5	27,4	31,6	33,6
Argamassa CBAP-PB	22,5	28,6	32,3	33,9
Argamassa CBAP-PT	22,6	29,6	32,6	35,0
Argamassa CBAP-PP	22,6	33,1	38,8	41,2
Argamassa CBA-PB	22,5	26,8	30,9	33,3
Argamassa CBA-PT	22,6	27,1	31,4	33,4
Argamassa CBA-PP	22,6	31,3	35,8	38,9

Apêndice B – Determinação da condutibilidade térmica (U) nas soluções construtivas

I – Solução construtiva de argamassa de reboco CAA

Paredes exteriores – Zona corrente – Pormenores 2 e 3					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Reboco exterior (CAA)	0,03	0,82	0,04	1,60	0,62
Bloco cerâmico	0,26	–	0,56		
Placas de XPS	0,03	0,037	0,81		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,35	–	1,43		

Paredes exteriores – Ponte térmica plana – Pormenores 2 e 3					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Reboco exterior (CAA)	0,03	0,82	0,04	0,91	1,1
Bloco cerâmico	0,04	–	0,56		
Betão armado	0,25	2,0	0,13		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,35	–	0,74		

Cobertura não-transitável – Fluxo ascendente – Pormenor 4					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Argamassa de regularização (CAA)	0,03	0,82	0,04	0,93	1,1
Impermeabilização	–	–	–		
Placas de XPS	0,04	0,037	0,56		
Camada de forma	0,10	0,85	0,12		
Betão armado	0,10	2,0	0,05		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,30	–	0,79		

Cobertura não-transitável – Fluxo descendente – Pormenor 4					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Argamassa de regularização (CAA)	0,03	0,82	0,04	1,00	1,0
Impermeabilização	–	–	–		
Placas de XPS	0,04	0,037	0,56		
Camada de forma	0,10	0,85	0,12		
Betão armado	0,10	2,0	0,05		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,30	–	0,79		

II – Solução construtiva de argamassa de reboco CBA

Paredes exteriores – Zona corrente – Pormenores 2 e 3					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Reboco exterior (CBA)	0,03	0,52	0,06	1,62	0,62
Bloco cerâmico	0,26	–	0,56		
Placas de XPS	0,03	0,037	0,81		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,35	–	1,45		

Paredes exteriores – Ponte térmica plana – Pormenores 2 e 3					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Reboco exterior (CBA)	0,03	0,52	0,06	0,94	1,1
Bloco cerâmico	0,04	–	0,56		
Betão armado	0,25	2,0	0,13		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,35	–	0,77		

Cobertura não-transitável – Fluxo ascendente – Pormenor 4					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Argamassa de regularização (CBA)	0,03	0,52	0,06	0,95	1,1
Impermeabilização	–	–	–		
Placas de XPS	0,04	0,037	0,56		
Camada de forma	0,10	0,85	0,12		
Betão armado	0,10	2,0	0,05		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,30	–	0,81		

Cobertura não-transitável – Fluxo descendente – Pormenor 4					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Argamassa de regularização (CBA)	0,03	0,52	0,06	1,02	1,0
Impermeabilização	–	–	–		
Placas de XPS	0,04	0,037	0,56		
Camada de forma	0,10	0,85	0,12		
Betão armado	0,10	2,0	0,05		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,30	–	0,81		

III – Solução construtiva de argamassa de reboco CBAP

Paredes exteriores – Zona corrente – Pormenores 2 e 3					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Reboco exterior (CBAP)	0,03	0,14	0,21	1,78	0,56
Bloco cerâmico	0,26	–	0,56		
Placas de XPS	0,03	0,037	0,81		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,35	–	1,61		

Paredes exteriores – Ponte térmica plana – Pormenores 2 e 3					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Reboco exterior (CBAP)	0,03	0,14	0,21	1,09	0,92
Bloco cerâmico	0,04	–	0,56		
Betão armado	0,25	2,0	0,13		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,35	–	0,92		

Cobertura não-transitável – Fluxo ascendente – Pormenor 4					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Argamassa de regularização (CBAP)	0,03	0,14	0,21	1,11	0,90
Impermeabilização	–	–	–		
Placas de XPS	0,04	0,037	0,56		
Camada de forma	0,10	0,85	0,12		
Betão armado	0,10	2,0	0,05		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,30	–	0,97		

Cobertura não-transitável – Fluxo descendente – Pormenor 4					
Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	Resistência térmica (m².°C/W)	Resistência total (m².°C/W)	U (W/m².°C)
Argamassa de regularização (CBAP)	0,03	0,14	0,21	1,18	0,85
Impermeabilização	–	–	–		
Placas de XPS	0,04	0,037	0,56		
Camada de forma	0,10	0,85	0,12		
Betão armado	0,10	2,0	0,05		
Reboco interior	0,03	1,3	0,02		
Total	0,30	–	0,97		